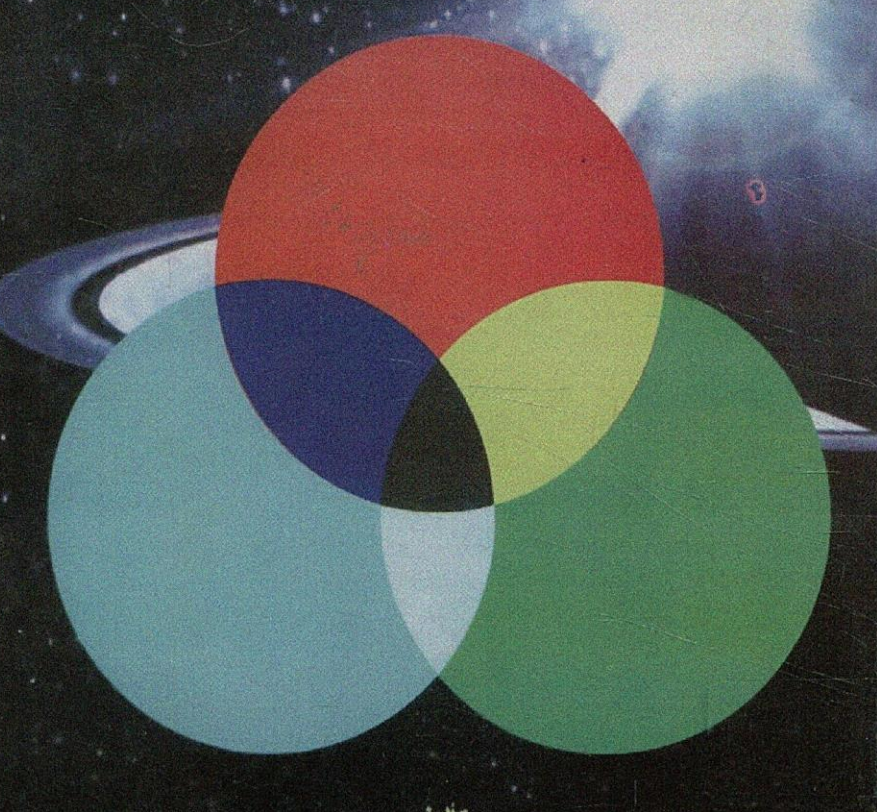
أساسيات
الفيزياء العامة



تأليف
المهندس محمد أبو دعابس
جامعة نيو مكسيكو
الولايات المتحدة الأمريكية

مركز الكتاب الأكاديمي

الطبعة الثانية 2014

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2003/12/2568)

أبو دعابس، محمد
أساسيات الفيزياء العامة/محمد أبو دعابس._عمان:
مركز الكتاب الاكاديمي.
( ) ص
ر.إ: 2003/12/2568

*يتحمل المؤلف كامل المسؤولية عن محتوى مصنفه ولا يعتبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية او اي جهة حكومية اخرى

مركز الكتاب الأكاديمي
ACADEMIC BOOK CENTER

عمان- شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 064619511 ص. ب 1061 عمان 11732 الأردن
E-mail:Abc.safi@yahoo.com/A.b.center@hotmail.com

أساسيات
الفيزياء العامة

المهندس
محمد أبو دعابس
جامعة نيو مكسيكو
الولايات المتحدة الأمريكية



بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

يبحث الكثير من طلاب العلم والمعرفة عن ملخصات للعلوم المختلفة لإعطاء أفكار أساسية لما يريدونه ، وضمن هذا الكتاب يجد القارئ مبادئ وأفكار أساسية لعلم الفيزياء حيث تبادل في بابه الأول أهمية علم الفيزياء وعلاقته بالعلوم الأخرى وأدواتها .

كما انتقلت من خلاله للحديث عن الحرارة من حيث علاقة حركة جزيئات الجسم والسعة الحرارية بشكل مبسط لكي يسهل على القارئ الإلمام بالمبادئ الأساسية لهذا العلم الواسع .

أما الباب الثالث فقد تضمن حديثاً مقتضباً عن الضوء للإلمام بالمبادئ الأساسية من حيث طبيعته وسرعته وقياسه وتوزيع الضوء في الغرف والمحلات .

إلا أنني رأيت أن أتسع قليلاً في الباب الرابع الذي يحتوي على الصوت من حيث انتشاره وانتقاله في السوائل والمواد الصلبة كما تناولت فيه ظاهرة دوبلر لما لها من أهمية في مصدر الصوت خصوصاً في سرعة الطائرات والنجوم والظواهر الفلكية إضافة لما لها من فوائد في الضوء والنظرية النسبية ناهيك عن أهميتها بالنسبة للصوت .

أرجو أن أكون قد وفقت في نقل معلومات مهمة لدارسي علم الفيزياء وإعطائهم نبذة من أساسيات ومبادئ هذا العلم الواسع الغزير .

والله الموفق وعليه الاتكال

المؤلف

١٥ ديسمبر ٢٠٠٥

المحتويات

الفصل الثالث

الفصل الرابع

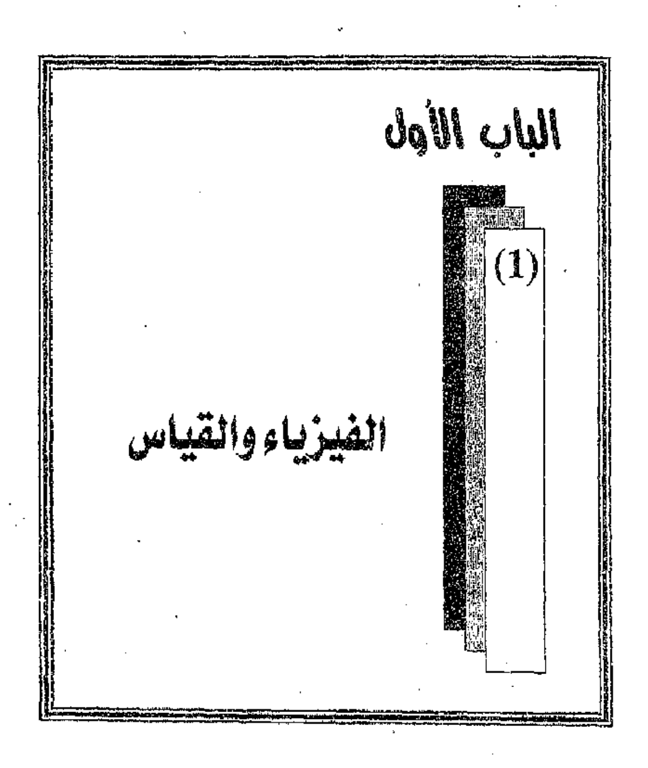
الباب الثالث
الضوء

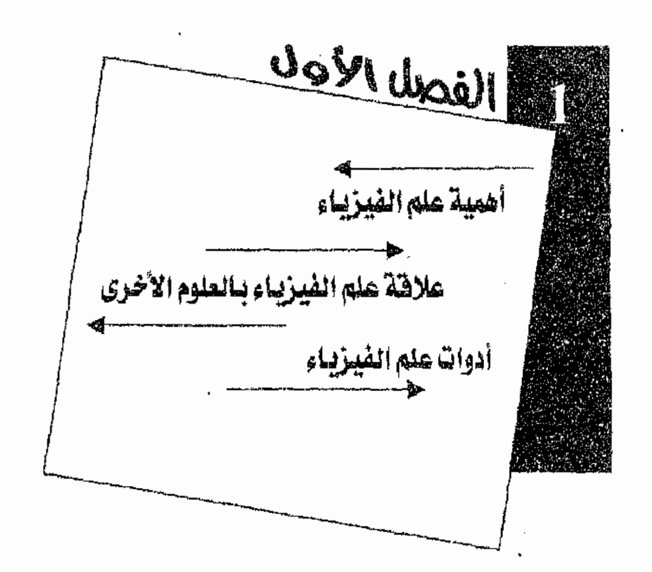
الفصل الأول

الباب الرابع
الصوت

الفصل الأول

الفصل الثاني


الباب الأول
(1)
الفيزياء والقياس


الفصل الأول
1
أهمية علم الفيزياء
علاقة علم الفيزياء بالعلوم الأخرى
أدوات علم الفيزياء

الفصل الأول

أهمية علم الفيزياء

أهمية علم الفيزياء كأحد العلوم الطبيعية

إن جميع العلوم التي تدرس الطبيعة وما فيها من ظواهر كعلم الفيزياء،الكيمياء ، علم الحياة (البيولوجيا) وغيرها يطلق عليها اسم العلوم الطبيعية .

والطبيعة تعني الواقع الموضوعي. فالأرض وما عليها من جماد وأحياء (بما فيها الإنسان) وما فيها من هواء وماء وكل ما صنعته يد الإنسان ، إلى جانب ما في الكون الفسيح من شموس وكواكب وأقمار..إلخ يطلق عليه إسم «الأجسام الفيزيائية».

ومعروف لديك أن هذه الأجسام هي أجزاء محدودة من المادة ، التي تتكون في الأساس من جزيئات تتكون من ذرتين أو أكثر متحدة مع بعضها بنسب وزنية معينة

إن التغيرات و الظواهر التي تطرأ على المادة بحيث تبقى خلالها الجزيئات أو الذرات على حالها دون تغير ، يطلق عليها اسم التغيرات الطبيعية أو الظواهر الفيزيائية. وعلم الفيزياء يعنى بدراسة جميع هذه الظواهر .فهو يدرس الظواهر الميكانيكية والظواهر الحرارية والصوتية إلى جانب الظواهر الضوئية والكهربائية والمغناطيسية. كما يهتم بدراسة خواص المادة وتركيبها الداخلي .

لكن الظواهر الفيزيائية هذه قد تتحول من شكل إلى آخر ، فالحجر المتحرك يمتلك كما تعلم طاقة ميكانيكية ناشئة من حركته ، وإذا اصطدم هذا الحجر بحجر أخر حركته عن موضعه ، وينشأ عن هذا الاصطدام حرارة قد تكون مصحوبة بشرارة ضوئية. وهذا

يعني أن الطاقة الميكانيكية التي يمتلكه الحجر المتحرك قد تحول بعضها بعد الاصطدام إلى طاقة حرارية وطاقة ضوئية

كذلك عرفت من دراستك السابقة أن المصباح الكهربائي يتوهج عند مرور التيار الكهربائي في فتيلته. وهذا يعني تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وطاقة ضوئية. والطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة حركية تحرك الرياح وتدير المكائن .

إن الطاقة الضوئية المستمدة من الشمس تسخن سطح الأرض الذي بدوره يسخن الهواء الملامس له. وأن عدم تساوي سخونة مناطق سطح الأرض المختلفة يؤدي إلى اختلاف سخونة الهواء فيها ، الأمر الذي يؤدي ظهور الريح (الهواء المتحرك)

إضافة إلى الظواهر الجوية الأخرى ولا بد أنك، قد تعرفت على الطاقة النووية التي يمكن أن تتحول إلى طاقة حرارية وضوئية هائلة يمكن أن يستفيد منها الإنسان في حياته وتقدمه في المجالات المختلفة .

إن عام الفيزياء يهتم بدراسة جميع هذه الظواهر أو التغيرات ، ومن هنا فإن علم الفيزياء يعرف بأنه: العلم الذي يعني بدراسة المادة والطاقة وتحولاتها.

علاقة علم الفيزياء بالعلوم الأخرى :

إن جميع العلوم الطبيعية دون إستثناء لا يمكن أن تستغني عن قوانين علم الفيزياء.

فقوانين الحركة على سبيل المثال تخضع لها حركة الأجسام الحية وغير الحية كذلك يوجد العديد من الظواهر الفيزيائية التي تجري في الأجسام الحية مثلما تجري في الأجسام غير الحية. و من هنا فإن علم الحياة (البيولوجيا) إلى جانب العلوم الطبية والزراعية. من فروعه الوثيقة الصلة بعلم الفيزياء الجيولوجي Geophysics وفيزياء المادة الحية Biophysics. وكذلك علوم الكيمياء والجيولوجيا والجيوفيزياء والجغرافيا والفلك وغيرها من العلوم الطبيعية تستخدم جميعها قوانين علم الفيزياء.

علم الفيزياء والتكنولوجيا :

منذ القدم عرف الإنسان بحكم التجربة أن دراسة الظواهر الطبيعية يمكن أن تستغل في تحسين حياته ولذلك تطورت التكنولوجيا مع تطور علم الفيزياء.

ففـي كـل مرحـلة مـن مـراحل تطور الحياة الاجتماعية حدد مدى ما بلغته العلوم الطبيعية من تقدم مستوى تطور التكنولوجيا في تلك المرحلة ، وكانت الظواهر والقوانين الـتي يدرسها علم الفيزياء قد استخدمت في أحوال كثيرة في الصناعة وفي تحسين الإنتاج. فقد تم اختراع القطار والباخرة والسيارة مثلا على أساس تطور دراسة الظواهر الحرارية، ولم تظهـر السـينما الحديثة إلا بعد تطور دراسة الظواهر الصوتية و الضوئية والكهربائية، ولكـن يجـب أن نـأخذ بعين الاعتبار أن تطور التكنولوجيا يؤثر بدوره على تطور العلوم الطـبيعية بمـا فيهـا علـم الفيزياء. وهذا يعني وجود علاقة متبادلة بين تطور العلو الطبيعية وبشكل خاص الفيزياء وبين تطور التكنولوجيا .

. فالتكـنولوجيا هـي الأسـم التقني لحضارة الإنسان العلمية والتطبيقية فعلوم اليوم البحتة هي تكنولوجيا الغد .

علم الفيزياء والرياضيات :

رغم أن التجربة هي المصدر الرئيسي لمعرفتنا بالظواهر الفيزيائية إلا أنها تمثل أحد الجوانب الأساسيـة في كل مسألـة تعرض في علم الفيزياء. أما الجانب الأخر فهو التعميم الرياضي .

إن هذيـن الجانبين يكونان وحدة متكاملة، يكمل أحدهما الأخر ويوضحه .فأبحاثنا في مسـألة فيـزيائية معيـنة ناحيـة التجربة العلمية وجب أن نذكر ما يتعلق بها من حقائق باللغة المستعملة في حياتنا اليومية، وأن نوضح ما يتم التوصل إليه من نتائج بصورة قابلة للـتحقيق بالطـرق التجريـبية. أمـا إذا بحثـنا فيها من الناحية الرياضية وجـب أن نستعمل

الـرموز الرياضـية، فنكتب المعـادلات الخاصـة بها ونستنبط منها بعض القوانين بالطرق المعروفة .إن هذين الجانبين للمسألة الفيزيائية كما ذكرنا غير مستقلين أحدهما عن الآخر ولا يمكن أن يكون في غنى عن الآخر.

أدوات علم الفيزياء :

إن دراسة المشكلات العملية، بما فيها مشكلات علم الفيزياء، تتطلب صياغة المشكلة صياغة واضحة ثم جمع المعلومات وإجراء التجارب عليها واستنتاج العلاقات بين الكميات المدروسة إلى أخر ما تلتزمه طرائق البحث العلمي الموضوعية .

والعالم في دراسته هذه يستعين بالكثير من الأجهزة والأدوات. وأهم هذه الأدوات عـلى الإطلاق موجودة في الجسم البشري: ((العقل والحواس)). ثم هو بعد ذلك محتاج إلى الـلغة وسـيلة للاتصال مع نفسه ومع غيره. ثم إلى الرياضيات (اللغة العالمية)، للربط بين الكميات المقاسة من حيث مقاديرها وكيفية تغيرها.

والحـواس هـي الأدوات الـتقدير الأولي التقريبي: وتختلف في حدتها وقدرتها من شخص لأخر. وهي في الشخص نفسه تتغير قوة و ضعفا مع تغير عمره وصحته العامة.

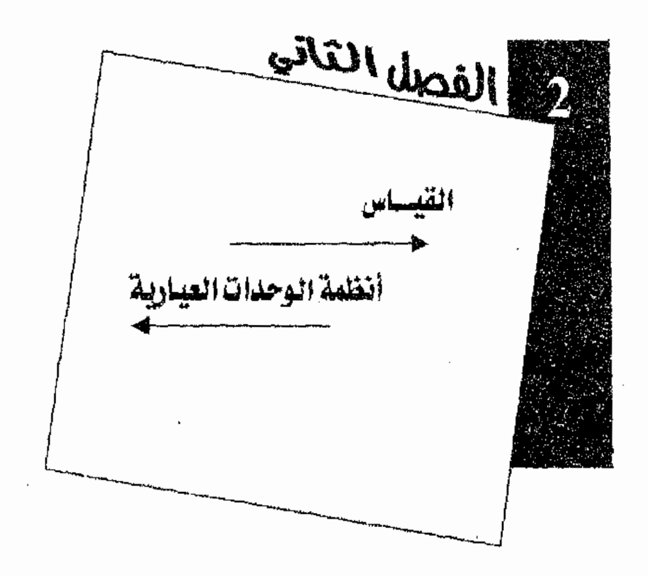
حـاول استخدام حواسك في تقدير الزمن أو المسافة أو الكتلة. قارن بين تقديراتك وتقديـرات زملائـك. ستجد بين هذه التقديرات اختلافات بينيه ولا تستطيع الحكم على أيها أقرب إلى الصواب إلا باستخدام أحد الأجهزة العلمية مثل الساعة أو المقياس المتري أو الميزان .

ولكـن هـذه الأجهـزة نفسـها نـتجت عـن إحسـاس الإنسـان بعـدم دقة حواسه، وتقصـيرها، وخداعهـا لـه في كـثير من الأحيان، واحتياجه إلى تكميلها بأدوات أكثر دقة وأكثر اعتمادا. مثال ذلك قصة اختراع الساعة. فقد شاهد جاليلو(Galileo) اهتزاز أحد المصـابيح ولاحـظ أن زمـن الذبذبـة الواحـدة يكـاد يكـون ثابـتاً بغض النظر عن اتساع

الذبذبة، وللتأكد من ذلك بصورة مبدئية على الأقل استخدم جاليلو نبضات قلبه لدرجة كبيرة على المدى الطويل، إلا انه يمكن اعتبارها منتظمة لدرجة كافية خلال فترة قصيرة تكفي للحكم على انتظام ذبذبة البندول (المصباح المهتز)، ولما تأكد جاليليو من تخمينه، قاده ذلك إلى فكرة الساعة حيث تمكن من إبقاء البندول مهتزاً باستخدام زنبرك، أو ثقل ساقط ببطء ويمكن فحص هذه الساعات بمقارنة عدد منها بعضها ببعض في توقيت حادثة معينة، كعدد معين من دقات القلب مثلاً، وهكذا نشأت فكرة ساعة البندول التي نستخدمها لضبط الوقت.

وقصة جاليليو والساعة هي مثال للطريقة المألوفة التي بنيت فيها أجهزة علم الفيزياء بدءاً بالإحساس الشخصي التقريبي وانتهاء بترجمة هذا الإحساس إلى جهاز أكثر دقة وأكثر اعتماداً.

وأجهزة علم الفيزياء قد تطورت من البسيط جداً إلى المعقد جداً، فالتجارب الأولى عن التركيب الذري والنشاط الإشعاعي تمت بأجهزة بسيطة مثل الألواح الحساسة والأملاح المشعة وبعض المواد الأولية الأخرى إلى أن وصلت اليوم بازدياد المعرفة العلمية والتكنولوجيا إلى أجهزة غاية في التعقيد مثل المسارعات النووية الضخمة وأجهزة الكشف الإلكترونية المتعددة عن الجسيمات والدقائق الأولية وهذه هي طبيعة التقدم العلمي، يبدأ بالبسيط من الأجهزة لمعالجة البسيط من الظواهر، ويتطور إلى المعقد من الأجهزة لمعالجة الأصعب والأدق من الظواهر.


2
الفصل الثاني
القيـاس
أنظمة الوحدات العيارية

الفصل الثاني

القيـاس

مقدمــة

يرتكز علم الفيزياء على القياس وأكثر أدوات القياس شيوعاً هي الحواس بمعظم معلوماتنا عن العالم تصلنا عن طريق حاسة الإبصار، ولا تقل الحواس الأخرى من لمس وشم وذوق عن حاسة الإبصار في تكوين صورة متكاملة عن العالم الخارجي وعلى الرغم من أهمية الحواس في القياس إلا أنها محدودة في مداها ومحدودة في صحتها ودقتها، وهي لا شك محتاجة لأجهزة القياس الصناعية كي تعوضها عن نقصها والحواس قد تخدع وخداع البصر من الأمثلة على ذلك.

الكميات الفيزيائية :

نستخدم في حياتنا اليومية ألفاظاً معينة للتعبير عن الأشياء التي تحيط بنا فنقول على سبيل المثال: إن كتلة الحديد التي تستخدم في رفع الأثقال مقدارها 52 كيلو جراماً وأن المسافة بين صنعاء وعدن 350 كيلو متراً وأن السيارة تقطع هذه المسافة في 7 ساعات متوسطة مقدارها 50 كيلو متراً في الساعة وهكذا.

ويطلق على مثل هذه الألفاظ: الكتلة والمسافة والسرعة والزمن اسم "كميات فيزيائية" (Physical Quantities) ونلاحظ أن هذه الكميات تتحدد بذكر وحدة معينة لقياس كل كمية من قيمة عددية لبيان عدد مرات احتواء الكمية على هذه الوحدة، فمثلاً عندما ذكرنا أن كتلة الحديد مقدارها 25 كيلو جراماً، اخترنا الكيلو جرام وحدة لقياس هذه الكتلة وعبرنا عن مقدارها بأنه يحتوي على 25 مرة قدر هذه الوحدة، وعندما ذكرنا

أن السرعة المتوسطة للسيارة 50 كيلو متراً في الساعة، اخترنا وحدة السرعة "الكيلو متر في الساعة" وعبرنا عن مقدارها بأنه يحتوي على 50 مرة قدر هذه الوحدة وهكذا بالنسبة للكميات الأخرى.

ويلاحظ أن بعض الكميات التي ذكرناها تتحدد تماماً بمعرفة مقدارها ووحدة قياسها فقط مثل الكتلة والمسافة والزمن وشدة التيار والشمعة ودرجة الحرارة وتسمى هذه الكميات «كميات قياسية» (Scalar Quantities)، وهناك كميات اخرى لا تتحدد تماماً بمعرفة مقدارها ووحدة قياسها بل لا بد من معرفة اتجاهها أيضاً مثل السرعة والقوة، وتسمى هذه الكميات "كميات متجهة" (Vector Quantities).

وحدات القياس الأساسية

كان الإنسان على مر العصور وفي مختلف البلدان يستخدم وحدات مختلفة لتقدير كمية معينة، فكانت الكتلة مثلاً: تقدر بوحدات الجرام والكيلو جرام، او الرطل والأوقية، وكان الطول يقدر بوحدات المتر والياردة والقدم والبوصة والذراع والشبر وكان الزمن يقدر بمسير يوم، أو يومين أو الساعة أو الثانية...الخ.

ولقد وجد أنه من الضروري توحيد وحدة القياس لكل كمية فيزيائية للأغراض العلمية والصناعة والتجارية.

ولقد مر معنا أن التجربة تكون ركناً أساسياً من أركان دراستنا للظواهر الطبيعية، لكن الحصول على أدق النتائج خلال أية تجربة فيزيائية يتطلب القيام بالقياس الدقيق، فلو أردنا معرفة كيف يتغير حجم الماء عند تغير درجة حرارته لتوجب علينا:

1. قياس درجة حرارة الماء.
2. قياس حجم الماء في درجة الحرارة المختلفة.

إن قيـاس أية كمية فيزيائية يعني مقارنتها مع كمية أخرى تؤخذ كمقياس فإذا أردنا قيـاس طـول الطاولـة مثلاً، فإننا نقوم خلال عملية القياس بمقارنة طولها مع طول وحدة القيـاس، وأن نتيجة القيـاس تـبين كـم مرة يساوي طول تلك الطاولة من هذه الوحدة (وحـدة القيـاس) وعـلى هـذا الأســـاس اتخـذت وحـدات قيـاس لجميـع المقاديـر الفيزيائيـة الأساسية.

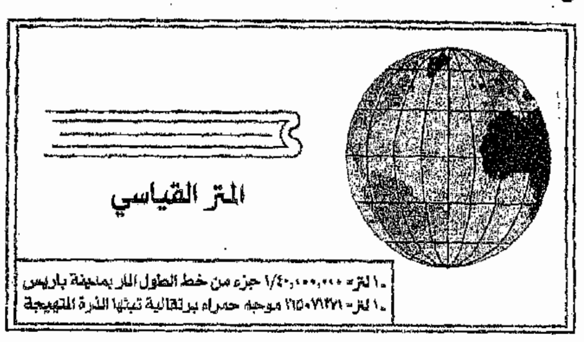
إن الـنظام العـالمي لـلقياس (SI)، والمعمـول به الآن، هو نظام (متر- كيلو جرام- ثانيـة) ويرمـز لـه بـ(م، كجم، ث، MKS) ويشتق منه نظام آخر هو (سنتيمتر- جرام- ثانية) ويرمز له بـ (سم، جم، ث، CGS) إن هذا النظام يسمى بالنظام المتري.

النظام المتري

1. المتر كوحدة للأطوال:

لقد اقترح استعمال نظام القياس المتري في فرنسا عام 1791 م من قبل اللجنة عالمية، ضمت العالم الفيزيائي والرياضي الفرنسي الشهير لابلاس (1749-1827م) وقد أخذت هذه اللجنة بنظر الاعتبار الملاحظات التالية:

1. إن نظام القياس يجب أن يكون مقداراً غير قابل للتغير، ومأخوذاً من الطبيعة.
2. يجـب أن تكـون وحداتـه ذات أجـزاء ومضـاعفات عشـرية بهدف سهولة الحساب، وعـلى هـذا الأسـاس اتخـذت اللجنة المذكورة المتر كوحدة لقياس الطول بحيث يمثل جـزءاً واحـداً مـن أربعـين مليون جزء $\frac{1}{40.000.000}$ يقسم عليها خط الطول المار بمدينة باريس.



شكل (1)

وقد حددت تلك اللجنة طول المتر بالمسافات التي حددت بين خطين متوازيين، حفراً على مسطرة معدنية مصنوعة من سبيكة البلاتين والاريديوم، وهذه المسطرة محفوظة كنموذج للمتر القياسي، في متحف الأوزان والقياس العالمية في مدنية سيفر بالقرب من العاصمة باريس في ظروف درجة الصفر المئوي الحرارية.

وفي عام 1961م تم الاتفاق دولياً على إختيار وحدة ذرية عيارية لقياس المسافة وتتمثل في طول ذبذبة معينة تصدرها ذرة عنصر الكريتون Kr86 على هيئة ضوء برتقالي اللون في مصباح تفريغ كهربائي يحتوي على العنصر المذكور وأصبح المتر العياري يساوي 1650763.73 من طول هذه الذبذبات وأصبح بالإمكان الوصول إلى دقة في قياس الأطوال باستخدام هذه الذبذبات تصل إلى $\frac{0.000000001}{10^{9}}$ أي أدق بمائة مرة عما كان ممكناً باستخدام القضيب المعدني للمتر العياري السابق.

وبالإضافة إلى الزيادة في الدقة فإن مصباح الكريتون المذكور يسهل توفره في كل مكان ولا تتغير طول الذبذبات الصادرة عنه إذا تم صنعه تحت مواصفات عيارية معينة.

<u>جدول يوضح بادئات أجزاء ومضاعفات المتر</u>

التسمية	البادئة	النسبة إلى الوحدة (المتر)
المتر		$10^{0}=1$
ديكامتير	ديكا	$10^{1} = 10$
هيكتوميتر	هكتو	$10^{2} = 100$
كيلو ميتر	كيلو	$10^{3} = 1000$
ميكا ميتر	ميكا	$10^{6} = 1000000$
كيكا ميتر	كيكا	$10^{9} = 1000000000$
تيراميتر	تيرا	$10^{12} = 1000000000000$
ديسمتر	ديسي	$10^{-1} = 0.1$
سنتيمتر	سنتي	$10^{-2} = 0.01$
ميليمتر	ملي	$10^{-3} = 0.001$
ميكروميتر	ميكرو	$10^{-6} = 0.000001$
نانومتير	نانو	$10^{-9} = 0.00000001$
الأنجستروم		$10^{-10} = 0.0000000000001$
بيكوميتر	بيكو	$10^{-12} = 0.00000000000001$
الطيرمي		$10^{-15} = 0.0000000000000001$

ولن يكون اختيار طول ذبذبات عنصر الكريتون كوحدة عيارية لقياس الطوال نهاية المطاف، فقد تم في السنوات الأخيرة اكتشاف مصادر ضوئية يمكن قياس الذبذبات الصادرة بدقة أفضل.

وتسمى هذه المصادر الجديدة بمصادر أشعة الليزر (Laser Sources) ومنها الأشعة الصادرة عن مزيج من غاز الهليوم وغاز النيون (He- Ne- Lasers).

ومن وحدة الأطوال يمكن أن نشتق وحدة المساحة ووحدة الحجوم، فوحدة المساحة هي مساحة مربع طول ضلعه وحدة الأطوال ووحدة الحجوم هي حجم مكعب طول ضلعه وحدة الأطوال، فإذا كانت وحدة الأطوال 1سم، 1م، 1كم، على التوالي فإن وحدة المساحة تكون هي الأخرى على التوالي مساوية إلى:

1سم×1سم= 1سم^2

1م×1م=1م^2 = 100سم× 100سم= 10000 سم^2 = 10^4 سم^2

1كم × 1كم= 1كم^2 = 1000م×1000م = 1000000م^2 = 10^6 م^2

كما وجد ان وحدات الحجوم تكون مساوية إلى:

1سم× 1سم× 1سم= 1سم^3.

1م×1م× 1م= 1م^3 = 100سم× 100سم× 100سم

= 10000سم^3= 10^6 سم^3

1 كم ×1كم×1كم= 1كم^3 = 1000م×1000م ÷ 1000م

= 1000.000م^3 = 10^6 م^3

2. وحدة الكتل (الكجم)

إن الوحدة الدولية لقياس (الكتلة) هي سبيكة اسطوانية مكونة من عنصري البلاتين والأيريديوم وتسمى بالكيلو جرام، وهي محفوظة في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس بالقرب من باريس، وكان المقصود بالكيلو جرام أصلاً أن يساوي كتلة لتر (10^3سم^3) من الماء المقطر عند درجة حرارة 4°م، وهي درجة الحرارة التي تكون فيها كثافة الماء اكبر ما يمكن.

الميكرو جرام (μ جم) = $\frac{1}{1000.000.000}$ كيلو جرام =10^{-9} كجم

وهناك طريقتان مختلفتان لقياس كتلة- أي للمقارنة بين كتلة مجهولة والكيلو جرام العياري، الأولى باستخدام الميزان ذي الكفتين حيث نضع الكتلة المجهولة في كفة وعيارات عيارية (الكيلو جرام، أجزاؤه ومضاعفاته) في الكفة الأخرى إلى أن تتزن الكفتان.

والكتلة التي نعينها بهذه الطريقة تسمى كتلة الجذب (The Gravitational Mass) وإذا اتزنت كتلتان في مكان معين فإنهما تتزنان في أي مكان آخر من هذا الكون.



شكل (2)

أما الطريقة الثانية لقياس الكتلة فتعتمد على المقارنة بين (عجلة الجسم) المجهول وعجلة كتلة عيارية عندما يتعرض الإثنان لنفس القوى المؤثرة، والنسبة بين الكتلتين تتناسب عكسياً مع النسبة بين عجلتيهما والكتلة التي تقاس بهذه الطريقة تسمى كتلة القصور (Inertial Mass) ولقد دلت التجارب على أن كتلة الجذب تساوي كتلة القصور إلى درجة كبيرة جداً من الدقة إذا استخدمنا نفس الكتلة العيارية في قياسهما وفي مجال التعامل اليومي في الكتل الكبيرة نسبياً، فإنه من الأسهل تعيين كتل الجذب لهذه الأجسام.

وحيث أنه لا فرق بين كتلة الجذب وكتلة القصور، شاع استعمال الميزان ذي الكفتين في تعيين الكتل الكبيرة نسبياً أما على نطاق الجسيمات الأولية والذرات فإنه من الأسهل تعيين كتلة القصور باستخدام قوى المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تؤثر

على الجسيمات المشحونة ويبين الجدول التالي المدى الواسع لمقادير الكتل في الكون الواسع مقدرة بالكيلو جرام.

جدول يبين بعض مقادير الكتل في الكون

مقدار الكتلة	$^{25}10$
كتلة الكون المرئي	$^{53}10$
كتلة الشمس	$^{30}10$
كتلة الأرض	$^{25}10$
كتلة القمر	$^{23}10$
كتلة السيارة	$^{3}10$
كتلة لتر من الماء	$^{0}10$
كتلة قطرة ماء	$^{5-}10$
كتلة كرية الدم الحمراء	$^{13-}10$
كتلة جزئ من بروتين بياض البيضة	$^{22-}10$
كتلة جزئ الأكسجين	$^{27-}10$
كتلة الالكترون	$^{32-}10$

3. وحدة قياس الزمن:

إن قياس الزمن يرتكز على مبدأ الحركة الدورية المتكررة فآلة التوقيت (الساعة (Clock)) ليست أكثر من اداة تحصي عدد المرات التي تتكرر فيها حركة دورية معينة فالقلب النابض ساعة، والبندول المهتز ساعة، والأرض الدائرة حول نفسها أو حول الشمس ساعة، وبلورة الكوارتز المهتزة ساعة والوحدة الأساسية لقياس الزمن هي الثانية Second ولقد عرفت أصلاً بأنها تساوي $\frac{1}{86400}$ من اليوم، أي ان الثانية هي زمن الذبذبة الواحدة لساعة تعمل 86400 ذبذبة بينما تتحرك الشمس من موضعها عند الظهر في أحد الأيام إلى نفس موضعها عند الظهر في اليوم التالي:

ويستطيع الفلكيون تحديد هذا الموضع بدقة كبيرة، وبما ان حركة الشمس الظاهرية هذه تتغير بعض الشيء من يوم لآخر على مدار السنة فإن الثانية حسبت على أساس القيمة المتوسطة لكل أيام السنة.

ونحن نعلم أن الأرض في تغير دائم فهناك الزلازل والبراكين والفيضانات وتجمد المياه وذوبانها، وحركة الرياح كل ذلك يؤثر على انتظام حركة الأرض وبالتالي على قيمة وحدة القياس الزمنية (الثانية) لذلك بنى الفيزيائيون ساعات ذرية (Atomic Clocks) تعتمد في تعيينها للزمن على الاهتزازات الذرية الدورية ويحفظ هذه الساعات في المكتب الوطني للوحدات القياسية (National Bureau of Standards) كما في الولايات المتحدة الامريكية والساعة القياسية حالياً هي ذرة عنصر السيزيوم Cs 155 وتعرف الثانية بأنها تساوي (9192631770) زمن اهتزازة معينة من اهتزازات ذرة السيزيوم المذكورة وتفوق هذه الساعات بدقتها الساعة الفلكية المبنية على حركة الأرض بأكثر من 200 مرة إذ أن الخطأ في هذه الساعة الذرية لا يزيد عن ثانية واحدة لكل 30000 سنة.

<u>جدول يبين بعض الفترات الزمنية الصغيرة</u>

الاسم	الرمز	المقدار
بيكو ثانية (Picosecond)	Psec	10 --12 ثانية
نانو ثانية (Nanosecond)	Nsec	10 --9 ثانية
ميكرو ثانية (Microsecond)	Usec	10 --6 ثانية
ميللي ثانية (Millisecond)	Msec	10 --6 ثانية

أما على النطاق الكوني فإن الزمن يقاس ببلايين السنين (البليون = 10 9) فعمر الأرض يقدر بحوالي 4 بليون سنة، وعمر الكون يقدر بحوالي 10 بليون سنة ومتوسط عمر البروتون في باطن الشمس هو 14 بليون سنة، ومن المثير أن نلاحظ ان النسبة بين

طول الفترات الزمنية وأقصرها لإحداث عالمنا الطبيعي هي 10^4 وهي النسبة ذاتها بين أطول مسافة وأقصرها في هذا الكون إن ذلك ليس مصادفة فإن أطراف هذا الكون تبتعد عنا بسرعة تقترب من سرعة الضوء والجسيمات الأولية التي تسير غور عالمنا تحت المجهري تتحرك هي أيضاً بسرعة تقترب من سرعة الضوء.

أنظمة الوحدات العيارية Systems of Standard Units

تحدثنا حتى الآن عن نظام واحد من الوحدات وهو ما يسمى بالنظام الدولي ويرمز له أحياناً بالرمز (System International:S.I) ويتخذ هذا النظام المتر كوحدة عيارية للأطوال، والكيلو جرام وحدة للكتل والثانية للزمن، ودرجة الحرارة المطلقة (The Kelvin) وحدة لدرجة الحرارة.

ويوجد نظامان آخران يستخدمان في العلوم والهندسة هما:

1. نظام جاوس **Kelvin Gaussian System**: أو نظام (سم- جم- ثانية) وفيه يتخذ السنتيمتر وحدة للطول، والجرام وحدة للكتلة، والثانية للزمن، ودرجة الحرارة المطلقة وحدة لدرجة الحرارة.
2. النظام البريطاني **The British System**: أو نظام (قدم – باوند- ثانية) وفيه يعتبر القدم وحدة للأطوال، والباوند وحدة الكتلة، والثانية وحدة للزمن ودرجة الحرارة فهرنهيت Fahrenheit degree كوحدة لدرجة الحرارة.

وظاهرياً يبدو أن النظام الدولي، ونظام سم- جم – ثانية متشابهان من حيث كونهما نظامان متريان والنسبة بين وحدات الطول أو الكتلة فيهما هي عبارة عن قوى العشرة أي أن $\frac{\text{متر}}{\text{سنتيمتر}} = 10^2$

و $\frac{\text{كيلو جرام}}{\text{جرام}} = 10^3$

إلا أن الإختلاف بين وحدات النظامين هي أكبر من ذلك بالنسبة للوحدات الكهربائية والمغناطيسية.

أما النظام البريطاني فد اختفى تقريباً من النشرات العلمية في أبحاث الفيزياء، مع ان بعض المهندسين لا يزال يستخدم وحداته، وسواء في الفيزياء أو الهندسة فإن وحدات النظام الدولية (SI) أصبحت هي الشائعة، وسنحاول التركيز على هذا النظام في هذا الكتاب، ومن فوائد هذا النظام، بالإضافة إلى كونه مترياً، هو انه يحتوي على الوحدات العلمية في الكهرباء الفولت (Volt)، الأمبير (Ampere)، الأوم (Ohm)، الواث (Watt) وغيرها.

وإتماماً للموضوع يجب أن نتذكر أنه بالإضافة إلى الوحدات الأربع العيارية: متر، كيلو جرام، ثانية، درجة مطلقة، فإن النظام الدولي (SI) يحتوي أيضاً على الأمبير كوحدة لقياس التيار الكهربائي، والشمعة العيارية (Candela) كوحدة للإضاءة وهذه هي الوحدات الست في النظام الدولي.

وهناك وحدات لكميات أخرى في الفيزياء تسمى بالوحدات المشتقة لأنه يمكن التعبير عنها بدلالة الوحدات الست الأساسية:

فمثلاً الكثافة= $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ إذن وحدات الكثافة= $\frac{\text{كجم}}{\text{م}^3}$

والسرعة المنتظمة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ إذن وحدات السرعة = $\frac{\text{م}}{\text{ثانية}}$

(التسارع) = $\frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}}$ إذن وحدات العجلة= $\frac{\text{م}}{\text{ثانية}}$ $\frac{1}{\text{ثانية}}$ = $\frac{\text{م}}{\text{ثانية}^2}$

والقوة= الكتلة × العجلة، إذن وحدات القوة= كجم

= ك × $\frac{\text{م}}{\text{ثانية}^2}$ = $\frac{\text{ك م}}{\text{ثانية}^2}$

وتسمى هذه الوحدة اختصاراً بالنيوتن Newton نسبة إلى العالم اسحق نيوتن وستتعرف تدريجياً على وحدات أخرى مشتقة كثيرة أثناء دراستك.

الأرقام المعنوية

في عمليات القياس الفيزيائية نستخدم أجهزة القياس المختلفة من طبيعية (الحواس) أو صناعة كالساعة أو المتر أو الميزان أو غيرها، كما أننا نقوم بعمليات قياس مباشرة أحياناً، وغير مباشرة أحياناً أخرى، والسؤال الذي يطرح نفسه علينا الآن هو: ما هي درجة ثقتنا بالأرقام التي نحصل عليها نتيجة لعمليات القياس المذكورة؟

نود أولاً أن نشير إلى أننا أثناء عمليات القياس نرتكب نوعين مختلفين من الأخطاء.

1. الأخطاء المنتظمة (Systematic Errors):

وهي أخطاء ذات مقدار معين، محدد ونحصل عليها بنفس القدر إذا اعدنا قراءة جهاز القياس مرة بعد الأخرى، ويتسبب هذا النوع من الأخطاء عن كون جهاز القياس مغلوطاً، أو أن تدريجه غير صحيح، أو أحياناً نتيجة لاتباعنا طرقاً غير صحيحة في القياس، وهذا النوع من الخطأ، لا يخضع للتحليل الإحصائي (Statistical Analysis) ويصعب الكشف عنه في كثير من الأحيان، ويجب تقديره بعد تحليل ظروف التجربة والطرق التي اتبعت في أخذ القياسات.

وكمثال على ذلك لو فرضنا أن احدكم قاس طول طاولة بمقياس متري وكان متوسط قراءته 1.982 متر وعند درجة حرارة 20°م، ولكنه اكتشف بعد ذلك أن المقياس درج عند درجة حرارة 25°م، وأن معامل تمدده الطولي هو 0.0005 / 1°م.

هذا يدل على وجود خطأ متظم في النتيجة التي حصلنا عليها وذلك بسبب الظروف التي تمت تحتها التجربة لأن قراءة المقياس لا تكون صحيحة إلا في درجة 25°م

وعلينا إجراء تصحيح في النتيجة التي حصلنا عليها بأن نضرب القيمة السابقة في معامل التصحيح.

$1-5\times0.005= 0.9975$ حيث نجد أن النتيجة الجديدة هي 1.977 متر، ولنفرض أن نفس الطالب أعاد التجربة وتبين له أنه لم يكن يقرأ المقياس وخط نظره عمودياً كما يجب، بل كانت قراءته دائماً أقل من الواقع بمقدار 2 ملليمتر،وهذا خطأ منتظم آخر نتيجة لاتباع طريقة خاطئة في أخذ القراءات وبالتالي يجب تعديل القراءة مرة أخرى بحيث نضيف إليها 2 ملليمتر فتصبح 1.979 متر.

وتجدر الإشارة هنا ان الأخطاء المنتظمة تؤثر على ما نسميه صحة النتيجة وهي مقياس قربها أو بعدها عن القيمة الحقيقية للكمية المقاسة.

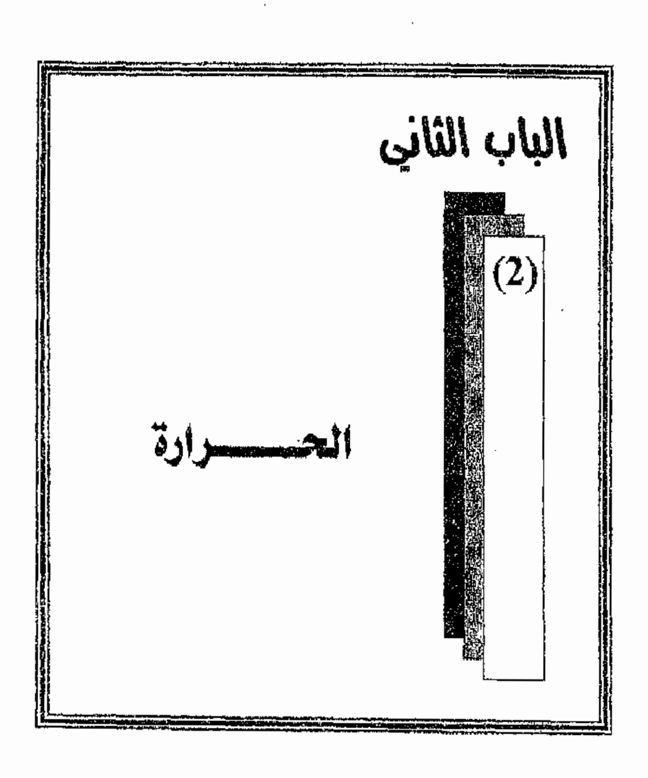
2. الأخطاء العشوائية: **(Random Errors)**

وهي أخطاء تنتج عن الطبيعة الإحصائية لعملية القياس ولا يمكن تجنبها إذ ان نتائج القياس عند تكرارها تذبذب، زيادة أحياناً ونقصاً أحياناً أخرى، حول القيمة المتوسطة للكمية المراد قياسها والأخطاء العشوائية تؤثر على ما نسميه دقة (Precision) النتيجة وهو ما يعنينا بصورة رئيسة عند التحدث عن الأرقام المعنوية في نتائج القياس، ويمكن تصغير الخطأ العشوائي باستخدام أجهزة وطرق للقياس أكثر دقة، كما يمكن تصغير هذا الخطأ بمجرد إعادة التجربة عدداً من المرات وحساب متوسط القراءات التي نحصل عليها.

سنوضح المفاهيم السابقة بمثال: لنفرض أن لدينا مقياساً مترياً مدرجا بالسنتيمترات واستخدمناه في قياس طول قطعة من الخشب فوجدنا أن طولها هو حوالي 6 سنتيمتر لقد جرت العادة على احتساب خطأ عشوائي في القياس (نصف قيمة تدريج المقياس) هذا إذا لم تكرر عملية القياس واكتفينا بقراءة واحدة وعلى ذلك فإننا نسجل طول الخشبة بأنه

يساوي (0.5+6) سم وعدد الأرقام المعنوية هو واحد فقط في هذه الحالة يعبر عنه الرقم 6 المذكور ولنفرض أننا أعدنا عملية القياس باستخدام مسطرة مترية مدرجة بالمللمترات ووجدنا ان طول القطعة هو حوالي 5.7 سم، أي أنه باستخدام المقياس الجديد الأدق كان الطول أقرب إلى 5.7سم منه إلى 5.8 أو 5.6 سم.

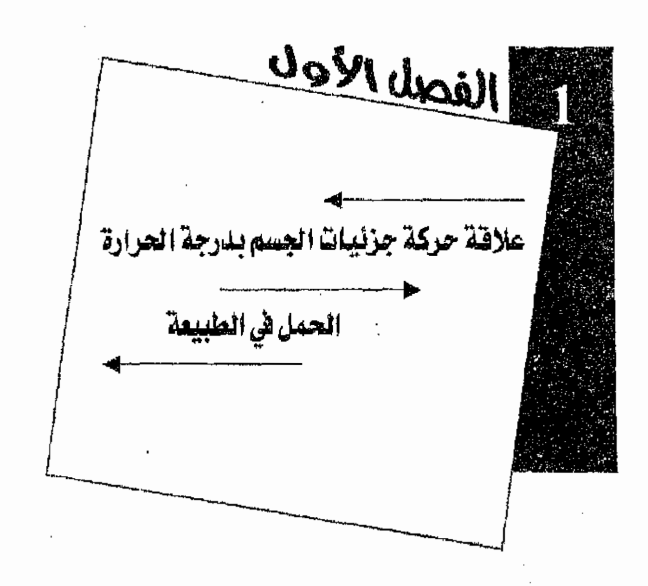
وهنا نسجل الطول بانه يساوي (0.05+5.7)سم، والمهم هنا ان نفهم أن كل كمية فيزيائية لها وحدة ولها مقدار تتحدد قيمته بعدد أرقامه المعنوية، (5.7 ± = 0.05).



الباب الثاني

(2)

الحـــــرارة


1 الفصل الأول
علاقة حركة جزئيات الجسم بدرجة الحرارة
الحمل في الطبيعة

الفصل الأول

علاقة حركة جزئيات الجسم بدرجة حرارته

سبق أن تعرفت على ظاهرة الانتشار، في المواد الغازية والسائلة والصلبة، باعتبارها إحدى الدلائل على حركة جزيئات للمادة، فإذا راقبنا هذه الظاهرة في إناءين، وضع في كل منهما سائل، وكان أحد هذين الإناءين قد وضع قبل التجربة في مكان بارد، ووضع الآخر قبل التجربة على موقد نار مشتعل وجرينا عملية الانتشار في كل من هذين الإناءين، تلاحظ أن عملية الانتشار في الإناء الساخن تجري بسرعة أكبر مما عليه في الإناء البارد.

إن هذا يعني أن سرعة حركة جزيئات السائل الساخن أكبر من سرعة حركة جزيئات السائل البارد، ومن هنا نلاحظ ان حركة جزيئات السائل ودرجة حرارته متلازمة مع بعضها البعض.

ومن المعروف أن حركة جزيئات المادة معقدة جداً، يصعب إعطاء صورة كاملة عنها، خاصة إذا عرفنا أن ما يحويه 1م^3 من أي غاز في الظروف الاعتيادية يبلغ نحو:

25×10^{18} جزيء وأن كل جزئ من هذه الجزيئات يتحرك حركة انتقالية في جميع الجهات وبشكل عشوائي.

فيصطدم خلال ذلك بالجزيئات الأخرى، ويعود بعدها لمثل هذه الحركة ليصطدم مرة أخرى وهكذا.

إن حركة الجزئيات العشوائية هذه بمجموعها تسمى الحركة الحرارية للمادة، نظراً لارتباطها بدرجة حرارة المادة نفسها.

الطاقة الداخلية للمادة وطرق تغيرها

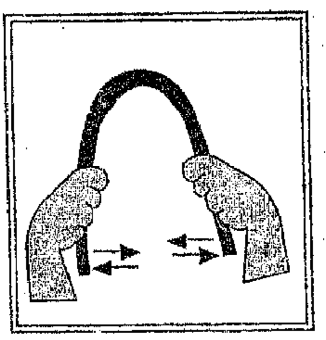
إن حركة الجزئيات المادة المستمرة والعشوائية تجعل هذه الجزيئات تمتلك طاقة كامنة ناشئة في الأصل من تغير حركتها، وطاقة كامنة ناشئة من تغير أوضاع الجزيء نفسه خلال تلك الحركة، وأن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة التي تمتلكها جميع جزئيات الجسم يطلق عليها اسم «الطاقة الداخلية» لذلك الجسم لكن طاقة الجزيء الواحد قليلة جداً، فقد وجد أن الطاقة التي يمتلكها جزيء واحد من غاز الهيدروجين درجة حرارته بقدر درجة حرارة الغرفة، تساوي حوالي 0.5×10^{-20} جولاً، غير أن مجموع الطاقة الداخلية التي تمتلكها جميع جزئيات الهيدروجين الموجودة في متر مكعب واحد وفي نفس درجة الحرارة تعادل ما يقرب من 140.000 جولاً، وهذه كمية كبيرة، غير أنه ليس من السهل الإستفادة منها في الوقت الحاضر.

إن الطاقة الداخلية للجسم كمية غير ثابتة، فعند رفع درجة حرارة الجسم تزداد هذه الطاقة بسبب زيادة متوسط سرعة الجزيء، والذي يؤدي بدوره إلى زيادة الطاقة الحركية والكامنة لجزئيات الجسم بمجموعها.

أما إذا خفضت درجة حرارة الجسم، فإن الطاقة الداخلية له سوف تنخفض هي الأخرى، كذلك تتغير الطاقة الداخلية للجسم عند انتقاله من حالة إلى أخرى، أو عند تغير شكله، فعلى سبيل المثال، إن الطاقة الداخلية لبخار الماء تكون أكبر من الطاقة الداخلية لنفس كمية الماء التي تكون منها ذلك البخار، فخلال انتقال السائل من حالة السيولة إلى الحالة الغازية تزداد المسافة بين جزيئاته وبالتالي تزداد الطاقة الكامنة للجزيء الواحد، كذلك فإنه عند تكرار ليّ سلك معدني عدة مرات بهدف قطعة كما في الشكل

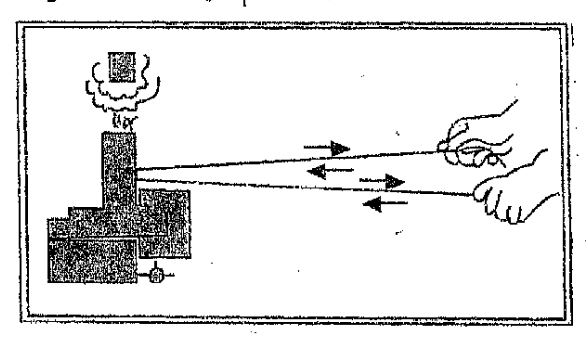
(3) فإننـا نلاحظ زيادة سخونة منطقة السلك، التي يرتكز عليها اللي، وهذا يعكس دون شك زيادة الطاقة الداخلية للسلك نتيجة لمحاولة تغيير شكله.

ومن كل ما تقدم نلاحظ:



شكل (3)

1. ان الطاقـة الداخلـية للجسـم كما رأينا تتغير بتغير سرعة حـركة جزيئات الجسم، فإذا وضعنا أثيراً في أسـطوانة معدنية سميكة الجدران كمـا في الشكـل (4) وحركـت الأسـطوانة بواسطة حبل عدة مرات فـبعد فـترة مـن الـزمن نلاحظ أن الأثير يسخن ثم يغلي وهكذا نرى أن الأثير يسخن ثم يغلي وهكذا نـرى أن الأثـير قـد تغـيرت طاقـته الداخلية نتيجة للشغل الذي بذل عليه أثناء إدارة الأنبوبة بواسطة الحبل، كذلك نلاحظ أن الأجسام عـند طـرقها أودلكهـا أو بـردها، تـزداد سـخونتها، وهذا يعني أن الشغل المبذول في الطـرق أو الدلـك أو الـبرد، يـؤدي إلى تغـير الطاقـة الداخلـية للجسـم وعـلى هذا الأسـاس فيمكننا زيادة الطاقة الداخلية للجسم عن طريق بذل شغل عليه.



شكل(4)

2. كذلك يمكننا أن نغير الطاقة الداخلية للجسم بدون بذل شغل عليه فإبريق الشاي الذي يوضع على موقد نار مشتعل يسخن ماؤه ثم يبدأ بعد فترة بالغليان وتحول الماء الموجود فيه إلى بخار، كما أن الملعقة المعدنية الباردة عند وضعها في الماء الساخن، تسخن هي الأخرى بعد فترة وجيزة، ويسخن سطح الأرض عندما تسقط عليه أشعة الشمس، ففي جميع هذه الحالات ترتفع درجة حرارة الجسم وهذا يعني زيادة الطاقة الداخلية له، فكيف نفسر زيادة الطاقة الداخلية للجسم في كل من هذه الأحوال؟ لنأخذ حالة الملعقة المعدنية الباردة، التي تغمر في الماء الساخن،فالطاقة الحركية لجزيئات الماء الساخن أكبر من الطاقة الحركية لجزيئات المعدن، وفي الأماكن التي تتلامس فيها المعلقة مع الماء تعطي جزيئات الماء الساخن قسماً من طاقتها الحركية إلى جزيئات الملعقة الباردة ذات الطاقة الأقل، لذلك تزداد الطاقة الداخلية لأجزاء الملعقة التي تلامس الماء مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارتها بينما ينخفض معدل درجة حرارة الماء الساخن بسبب انخفاض طاقته الداخلية نتيجة هذا التلامس.

وباستمرار هذا الانخفاض تتعادل بالتدريج درجة حرارة الماء الساخن مع درجة حرارة الملعقة حيث يشمل تغير الطاقة الداخلية جميع أجزاء الملعقة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة سخونتها.

إن عملية تغير الطاقة الداخلية للأجسام، دون انجاز شغل، والتي يتم خلالها إعطاء الطاقة الداخلية من جسم إلى آخر يطلق عليه اسم عملية انتقال الحرارة، وأن مقياس تغير الطاقة الداخلية خلال عملية انتقال الحرارة من جسم إلى آخر هو كمية الحرارة أو الحرارة بشكل عام، وعلى هذا الأساس يمكننا تغيير الطاقة الداخلية للأجسام بطريقتين.

1. بصرف شغل ميكانيكي على الجسم مثل الحركة، الطرق، الدلك، البرد....الخ.
2. بانتقال الحرارة من جسم إلى آخر، مثل تسخين الماء على موقد نار مشتعل، او تلامس جسمين أحدهما اكثر سخونة من الآخر.

ومن الطبيعي أنه لا يمكننا معرفة ما إذا كان أي جسم ساخن، قد سخن بالطريقة الأولى أم بالطريقة الثانية.

طرق انتقال الحرارة

الطاقة الداخلية للجسم ككل أشكال الطاقة الأخرى، يمكن نقلها من جسم إلى آخر، وقد بحثنا أحد الأمثلة على ذلك، وهو انتقال الطاقة الداخلية من الماء الساخن إلى الملعقة المعدنية الباردة.

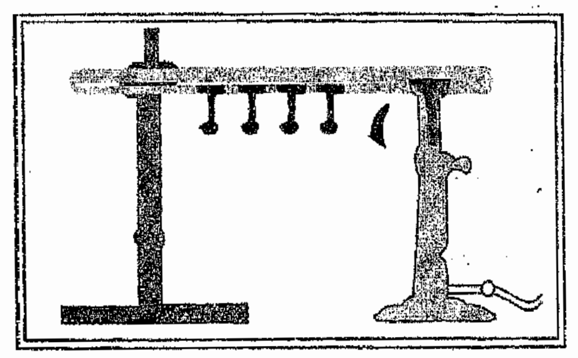
ومن الممكن إيراد أمثلة أخرى لانتقال الحرارة من جسم إلى آخر أو جزء من ذلك الجسم إلى باقي الأجزاء الأخرى، فعند وضع قضيب نحاسي في موقد نار مشتعلة، فإن أجزاء هذا القضيب الملامسة للنار سوف تسخن أولاً، ومن ثم تسخن الأجزاء الأخرى، وبعد ذلك تنتقل الحرارة إلى اليد الماسكة لذلك القضيب، كذلك عند تسخين الماء بواسطة إناء زجاجي يوضع على موقد النار المشتعلة، فإننا نلاحظ أن الماء يسخن من أسفل، وفيما بعد تنتقل الحرارة إلى باقي أجزائه، والشمس رغم وقوعها على بعد 150 مليون كم، تعطي حرارتها إلى الأرض.

1. انتقال الحرارة بالتوصيل:

إذا لصقنا بواسطة الشمع، عدداً من المسامير الصغيرة على قضيب نحاسي، ثم ربطناه كما في الشكل (5) وبدأنا تسخينه بواسطة مصباح كحولي، فإننا نلاحظ بعد فترة وجيزة سقوط المسمار الأقرب إلى المصباح بسبب ذوبان الشمع، ثم يليه المسمار الأول وهكذا.

إن هذا يؤكد حقيقة انتقال الحرارة بالقضيب النحاسي من الطرف الملامس للهب المصباح إلى الطرف البعيد عنه، فكيف انتقلت الحرارة في القضيب النحاسي.

في البداية تسخن الأجزاء الملامسة للهب مما يزيد طاقتها الداخلية في هذه المنطقة فتزيد درجة حرارتها، وبعد ذلك تؤثر حركة جزيئات القضيب في هذا الطرف على الجزيئات المجاورة فتزيد من سرعة حركتها أيضاً، وبالتالي ترتفع درجة حرارتها، وهذه الجزيئات بدورها تؤثر حركتها على الجزيئات المجاورة فتزيد من سرعة حركتها فترتفع درجة حرارتها وهكذا يؤثر كل جزئ متحرك على الجزيء القريب منه،وبذلك تعم في جميع أجزاء القضيب حركة اهتزازية من شأنها أن تزيد الطاقة الداخلية للقضيب فترتفع درجة حرارته.

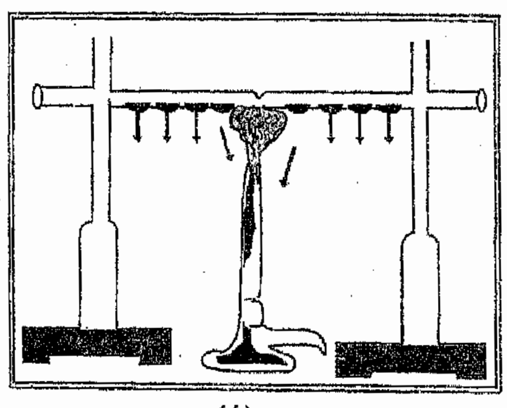


شكل (5)

ولكن خلال كل ذلك، من المهم جداً أن تعرف أنه خلال انتقال الحرارة في القضيب النحاسي لا تنتقل مادة القضيب من طرف إلى آخر، إن هذا الشكل من انتقال الحرارة يدعى بالتوصل.

والآن نعيد التجربة السابقة باستخدام قضيب من النحاس وقضيب من الفولاذ ونضع كلا من القضيبين على حامل بحيث يمس الطرف السائب من كل قضيب لهب المصباح الكحولي كما في الشكل (6).

ونلاحظ بعد فترة وجيزة ذوبان الشمع وسقوط المسامير من القضيب النحاسي قبل سقوطها من القضيب الفولاذي، وهذا يعني أن توصيل النحاس للحرارة أجود من توصيل الفولاذ لها.



شكل (6)

إن المواد تختلف في توصيلها للحرارة فبعضها جيد التوصيل للحرارة وبعضها رديء التوصيل لها، ويمكن الاستدلال على اختلاف المواد للتوصل للحرارة عند لمسها إذا كانت مطروحة في الشمس، فالنحاس يكون أكثر سخونة من الحديد، والحديد أكثر سخونة من البلاستيك، رغم أن درجة الحرارة التي توجد فيها هذه المواد المختلفة واحدة، ومن هذا نستنتج أن المواد تختلف في توصيلها للحرارة، فهناك مواد جيدة التوصيل للحرارة مثل المعادن كالفضة والنحاس والحديد والزئبق وغيرها وهناك مواد رديئة التوصيل للحرارة مثل الخشب، الورق، الصوف، القطن الهواء، الماء، والاسبستوس..الخ.

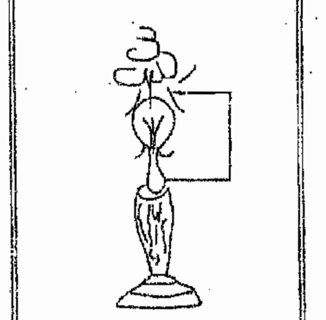
إن القطن والصوف رديء التوصيل للحرارة بسبب وجود الهواء بين شعيراته، لكن أردأ موصل للحرارة هو الفراغ بسبب عدم وجود إمكانية نقل الطاقة فيه لعدم وجود جزيئات المادة.

إن أهمية المواد الرديئة التوصيل للحرارة هو استعمالها في حفظ الحرارة من التسرب، فالطوب الطيني أردأ توصيلاً للحرارة من الأسمنت لذلك يفضل استعماله في بناء البيوت سواءً في المناطق الحارة أم المناطق الباردة.

إن الأرض رديئة التوصيل للحرارة لذلك تكون مياه الآبار في المناطق العميقة باردة صيفاً وتكون دافئة شتاءاً.

2. انتقال الحرارة بالحمل:

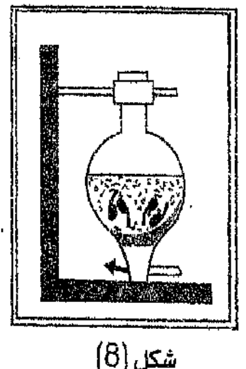
يُسخَّنُ السائل والغاز عادةً من الأسفل، فإذا وضعنا يدنا في إناء فيه ماء وضعناه تواً على موقد نار مشتعل، فإننا نحس بأن الماء أسفل الإناء هو الذي يبدأ بالسخونة قبل الماء في أعلاه، كذلك عند تقريب يدنا من مصباح مضيء فإننا نحس أن تيار الهواء الدافئ يتجه إلى أعلى، أن هذا التيار الهوائي يمكنه تدوير دوامة ورقية صغيرة حول المصباح، كما في الشكل (7). فالهواء الساخن يتحرك إلى أعلى.

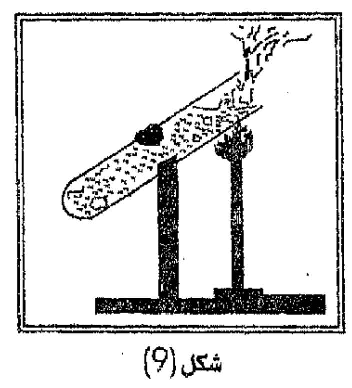


إن مثل هذا الشكل من انتقال الحرارة يطلق عليه اسم الحمل.

إن الحرارة خلال الحمل يحملها نفس التيار الغازي أو التيار المائي، فالهواء الملامس للمصباح يسخن من سطح المصباح فيتمدد وتصبح كثافته أقل من كثافة الهواء البارد المحيط بالمصباح لذلك فإن طبقة الهواء الحار تعوم على الهواء البارد فترتفع بتأثير القوة الصعودية. للهواء لأن هذه القوة أكبر من قوى جذب الأرض المؤثرة على الهواء الساخن، وهذا بدوره يؤدي إلى أن يحل محل الهواء الساخن هواء أبرد والذي بدوره يسخن ويبدأ بالحركة إلى أعلى وهكذا.

ومثل هذا يجري في السوائل أيضاً، فإذا وضعنا في قعر الدورق الذي سخنا فيه الماء مادة صابغة بلورية مثل برمنجيات البوتاسيوم، لكي نلحظ حركة طبقات الماء الساخنة، نلاحظ بعد فترة وجيزة كيف تسخن الطبقة السفلى من الماء وتعوم على سطح الماء البارد فترتفع إلى أعلى ليحل محلها الماء الأبرد وهكذا، كما في الشكل (8).


شكل (8)


شكل (9)

إن هذه التجارب البسيطة تفسر لنا لماذا يسخن السائل والغاز كقاعدة من الأسفل لنجرب الآن تجربة أخرى لتأكيد هذه الحقيقة وذلك بتسخين الماء في أنبوبة اختبار بحيث تعرض طبقته العليا للحرارة كما في الشكل (9) إننا نلاحظ في هذه الحالة غليان الطبقة العليا للحرارة كما في الشكل (9) إننا نلاحظ في هذه الحالة غليان الطبقة العليا للماء الموجود في الأنبوبة، وعدم غليان الطبقات السفلى.

وإذا وضعنا قطعة جليد في قعر الأنبوبة التي يجرب فيها التسخين، فإن الجليد لا يذوب، لأن الماء رديء التوصيل للحرارة من جهة كما لا تنتقل الحرارة بالحمل من أعلى إلى أسفل من جهة أخرى.

إن هذا يفسر أيضاً عدم إمكانية تسخين الهواء من الأعلى.

إن الحرارة لا تنتقل بالحمل في المواد الصلبة لأن جزيئات المادة الصلبة محدودة الحركة، إذ أن بلورات الجسم الصلب يتذبذب كل منها أمام نقطة معينة وتربطها مع

بعضها البعض قوى جزيئية فخلال تسخين المواد الصلبة لا يمكن أن تتكون تيارات للمادة مثل تيارات الحمل.

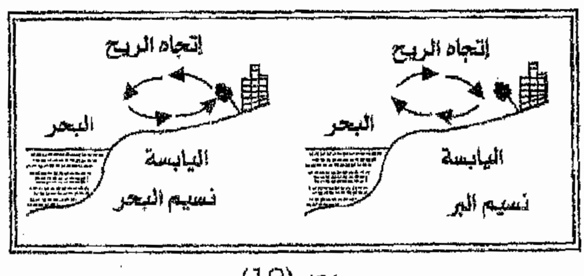
الحمل في الطبيعة

إن جميع الرياح التي تتحرك على الكرة الأرضية هي في الأصل تيارات حمل كبرى (عملاقة) وتكون الرياح التجارية مثال على ذلك، فهذه الرياح تهب من المناطق شبه المدارية إلى المناطق الاستوائية.

فالمتوسط السنوي لدرجة الحرارة في المنطقة الاستوائية أكبر من المتوسط السنوي لها في المناطق القطبية في حدود 50 مئوي، ولذلك فالرياح تسخن في المنطقة الاستوائية فتصعد إلى أعلى نتيجة قلة كثافتها ويحل محلها رياح أبرد تأتي من المناطق شبه المدارية.

أما بالنسبة للرياح المحلية فنورد هنا مثلاً على تكون الرياح نتيجة للحمل في المناطق الواقعة على سواحل البحار وهو (نسيم البر ونسيم البحر).

ففي منتصف النهار وفي هذه المناطق تسخن اليابسة من سخونة ماء البحر لأن الحرارة النوعية للأرض اليابسة أقل من الحرارة النوعية للماء، لذلك يسخن الهواء على اليابسة نتيجة لتماسه مع سطح الأرض، فيتمدد وتقل كثافته. ويرتفع إلى أعلى ويحل محله الهواء البارد القادم من البحر، كما في الشكل (10) الذي يبين نسيم البحر.



شكل (10)

وفي الليل تبرد اليابسة بشكل أسرع نتيجة لنفس الأسباب لذلك يكون الهواء على اليابسة أقل سخونة من الهواء على سطح البحر، فعندما يرتفع هواء البحر إلى أعلى نتيجة قلة كثافته يحل محله الهواء البارد من اليابسة والذي يشكل نسيم البر كما في الشكل (10).

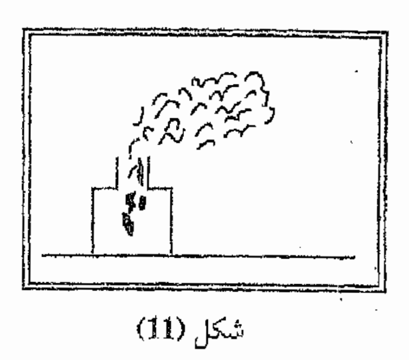
إن هذه الظاهرة (ظاهرة نسيم البحر والبر) واضحة في مدينة عدن وبشكل خاص على ساحل أبين حيث يشير إتجاه الرمال المتحركة على الساحل إلى اتجاه هبوب الرياح، ففي منتصف النهار نلاحظ هبوب الرياح من البحر إلى اليابسة، بينما نلاحظ في أواخر المساء هبوب الرياح من اليابسة إلى البحر.

تطبيق ظاهرة الحمل في التكنولوجيا

أ- التهويـــة:

من المعروف أن الإحتراق بدون وجود الهواء المتجدد الذي يحوي على الأوكسجين (الهواء النقي) لا يمكن حدوثه، ومن أجل ضمان اشتعال النار واستمراريتها في مواقد المصانع أو المشاغل أو محطات توليد الكهرباء الحرارية لا بد من نظام للتهوية يضمن استمرار اشتعال النار في الموقد، لذلك نبني المدخنة المتصلة بالموقد فعند اشتعال النار في الموقد يسخن الهواء الموجود في الموقد فتقل كثافته ويتصاعد عن طريق المدخنة، وبذلك يصبح ضغط عمود الهواء في المدخنة والموقد أقل من ضغط الهواء البارد الذي يدخل إلى الموقد ليحل محل الهواء الساخن ونتيجة للفرق بين ضغط الهواء البارد القادم إلى الموقد وضغط الهواء الساخن المتصاعد عبر المدخنة تتكون التهوية التي تتضمن استمرار مرور الهواء المتجدد داخل الموقد، وهذا بدوره يؤدي إلى استمرار اشتعال النار داخل الموقد.

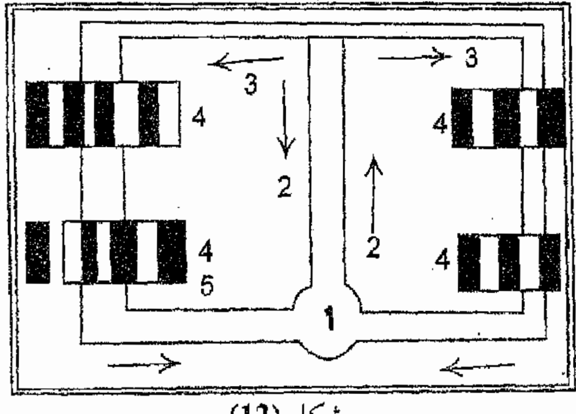
وفي الشكل (11) تبين التجربة قاعدة عمل التهوية في المصانع وهي تجربة بسيطة كما ترى في الشكل ولا نجد داعياً لشرحها.



شكل (11)

ب- التدفئة:

في كثير من البيوت الحديثة وبشكل خاص في المناطق الباردة، تستخدم التدفئة المركزية بواسطة الماء الساخن، على أساس ظاهرة الحمل، ففي الطابق الأسفل يقع المرجل (1) والذي يسخن فيه ماء التدفئة كما في الشكل (12) ومن هذا المرجل يخرج أنبوب رئيسي (2) يتفرغ إلى فرعين (3) يمر كل فرع في أنبوبة ملتوية (بطارية) (4) أو عدد من البطاريات التي بداخلها الماء بواسطة الأنبوب (3) وتشيد هذه البطاريات بحيث تقع كل واحدة منها تحت الشباك في كل غرفة يراد تدفئتها، فإذا سخن الماء في المرجل تقل كثافته بسبب تمدده.فيرتفع إلى أعلى عائماً على الماء الأبرد.



شكل (12)

ويمر خلال الأنبوتتين (3) (3) إلى البطاريات (4) فيسخن الهواء الملامس لسطح كل بطارية فيتمدد وتقل كثافته فيرتفع إلى أعلى عائماً على الهواء الأبرد فيحل محله هواء أبرد يلامس سطح البطاريات مما يؤدي إلى تسخينه وبالتالي إلى ارتفاعه هو الآخر ويحل محله هواء أبرد، وهكذا ينشأ تيار حمل في الهواء يسخن هواء الغرفة ويساعد على تدفئتها، لكن استمرار تماس الهواء مع سطح البطارية يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الماء الموجود في البطارية فتزداد كثافته وينزل إلى أسفل ويصل عبر الأنبوب (5) إلى المرجل ليسخن ويعود للصعود مرة أخرى، وهكذا يسخن هواء المنزل وتتم تدفئة المنزل.

3. انتقال الحرارة بالإشعاع:

كما ذكرنا في الفقرات السابقة، فإن حرارة الشمس تصل إلى الأرض رغم أن الشمس تبعد عنا 150 مليون كم، ويفصلنا عنها فضاء أو فراغ خال تقريباً من المادة (فراغ) وأن الفراغ كما مر معك أردأ موصل للحرارة إذ لا يمكن خلالها أن تنتقل الحرارة بالحمل أو التوصل بسبب عدم وجود جزئيات المادة فعلى أية صورة تأتي إلينا حرارة الشمس؟.

إن وصول حرارة الشمس إلينا يستلزم وجود شكل ثالث لإنتقال الحرارة، وهذا الشكل يطلق عليه اسم الإشعاع.

إن جميع الأجسام الساخنة تعطي الأجسام المحيطة بها حرارة عن طريق الإشعاع، وإن الانتقال الحرارة بالإشعاع يختلف عن الأشكال الأخرى لإنتقال الحرارة، لأن هذا الشكل من انتقال الحرارة (الإشعاع) يمكن أن يتم بالفراغ التام أيضاً.

إن جميع الأجسام سواء كانت ساخنة كثيراً أو قليلاً تشع أشعة غير مرئية، فالمصباح الكهربائي وقطعة الحديد الساخنة وحتى جسم الإنسان تشع جميعها أشعة غير مرئية، وكلما كانت درجة حرارة الجسم عالية، كلما كان الجسم يفقد حرارة أكثر عن طريق

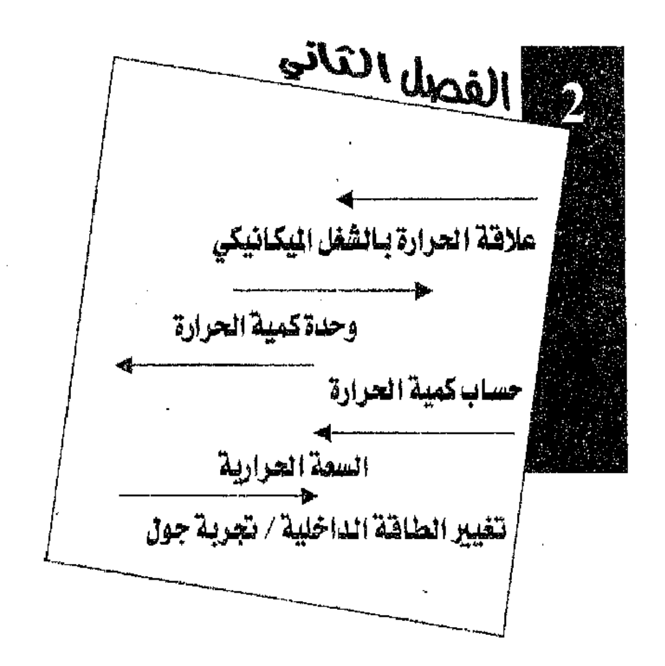
الإشعاع، فإذا سخنت قطعة الحديد التي ذكرناها أكثر فإن لونها يتغير من السواد إلى البياض ومن ثم الاحمرار ويصبح من الصعوبة مواجهتها بسبب شدة الحرارة التي تشعها.

وعليه فإن الأجسام الساخنة إلى درجة حرارة عالية جداً، لا تشع أشعة غير مرئية فحسب وإنما تشع أيضاً أشعة مرئية (ضوءاً) فقطعة الحديد الساخنة إلى حد الاحمرار وفتيل المصباح الكهربائي والشمس وجميع الأجسام المضيئة، تعطي إلى جانب الأشعة غير المرئية التي تشعها أشعة مرئية والتي ندعوها بالضوء.

إن الأشعة المرئية وغير المرئية التي يشعها الجسم الساخن لا تنعكس عند سقوطها على الأجسام الأخرى فقط وإنما تمتص جزئياً من قبل تلك الأجسام، مما يؤدي إلى سخونة تلك الأجسام، ولكن هذه السخونة تكون بمستويات مختلفة، فالأجسام السوداء والداكنة تمتص كمية أكبر مما تمتصه الأجسام البيضاء والمصقولة التي يمكنها أن تعكس كمية أكبر من الضوء الساقط عليها.

ولكن الأجسام السوداء والداكنة تفقد في ذات الوقت كمية أكبر من الطاقة التي تمتصها عن طريق الإشعاع مما يؤدي إلى سرعة برودتها.

ويمكن أن نورد هنا مثالاً لذلك، مما يجري في الطبيعة وفقاً لهذه الظاهرة فعندما تسقط أشعة الشمس على الأرض ينعكس جزء منها، بينما يمتص سطح الأرض الجزء الأخر من الأشعة، مما يسبب ارتفاع درجة حرارته، لكن المناطق السوداء والداكنة على سطح الأرض مثل بعض جبال اليمن تمتص كمية أكبر من أشعة الشمس، لذلك تكون درجة حرارة سطحها، وبخاصة في منتصف النهار، أيام الصيف، عالية جداً، وهذا يؤدي إلى سخونة الهواء الملامس لها، بطريقة الحمل، وارتفاع حرارته في المناطق القريبة منها بشكل خاص.


2
الفصل الثاني
علاقة الحرارة بالشغل الميكانيكي
وحدة كمية الحرارة
حساب كمية الحرارة
السعة الحرارية
تغيير الطاقة الداخلية / تجربة جول

الفصل الثاني

علاقة الحرارة بالشغل الميكانيكي

تعرف كمية الحرارة، بأنها مقدار الطاقة الداخلية التي يفقدها أو يكتسبها الجسم خلال عملية انتقال الحرارة.

إن تسمية (كمية الحرارة) اتخذت نسبة إلى تغير الطاقة الداخلية للجسم عن طريق انتقال الحرارة فقط، ولم تتخذ بالنسبة إلى تغير الطاقة الداخلية الحاصلة على إنجاز شغل على الجسم ذلك فإن تحديد مقدار تغير الطاقة الداخلية عن طريق انتقال الحرارة يؤدي إلى تحديد أدق لكمية الحرارة.

فإذا رمزنا للطاقة الداخلية للجسم بالرمز (Δ ط د) وللتغير الحاصل في مقدارها بالرمز (Δط د) وقلت الطاقة الداخلية للجسم خلال عملة التبادل الحراري بمقدار (Δ ط د)، فيقال عندئذ أن الجسم قد أعطى للوسط المحيط به كمية حرارة (ح) تساوي (Δ ط د)، أما إذا ازدادت الطاقة الداخلية خلال عملية التبادل الحراري بمقدار (ط د) فيقال أن الجسم قد اكتسب كمية من الحرارة مقدارها (ح) التي تساوي (Δ ط د) ولهذا يجب الانتباه إلى أن الطاقة الداخلية للجسم تؤخذ أو تعطى من قبل الجسم، أما كمية الحرارة (ح) فإنها تمثل التعبير الكمي للطاقة الداخلية المأخوذة أو المعطاة أثناء عملية التبادل الحراري ولهذا فإن كمية الحرارة (ح) هي مقياس لتغير الطاقة الداخلية خلال عملية التبادل الحراري.

ومن أجل التعرف على طريقة حساب كمية الحرارة (ح) يجب أن نفهم علاقتها بالمقادير الفيزيائية الأخرى، ونورد أدناه بعض التجارب والملاحظات:

1. عندما نريد أن نسخن الماء في غلاية إلى حد يجعله دافئاً فقط، فإننا نحتاج إلى وقت قصير من التسخين، أما إذا أردنا زيادة سخونة الماء فإننا سوف نحتاج إلى وقت أطول، أي أننا نحتاج إلى إعطاء الماء كمية حرارة أكبر، ولهذا فكلما سخنا الماء إلى درجة حرارة أعلى، كلما احتجنا إلى إعطائه كمية حرارة أكبر، عند ترك الماء يبرد، فإنه كلما أعطى إلى المحيط الخارجي كمية حرارة أكبر، كلما انخفضت درجة حرارته أكثر.

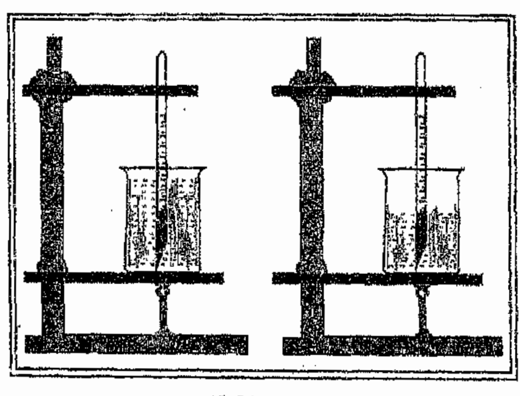
لكن معرفة ارتفاع وانخفاض درجة حرارة الماء، غير كاف لتحديد كمية الحرارة التي حصل عليها الماء عن التسخين، أو التي فقدها عند التبريد، فقطعة الحديد لا يمكن أن تدفيء الغرفة الباردة مثلاً أيام الشتاء، وخاصة في المناطق الباردة في حين يمكن تدفئة مثل تلك الغرفة كما ذكرنا بواسطة الماء الحار والذي لا تزيد درجة حرارته عن 60° م.

2. نحن نعرف من تجربتنا اليومية، أنه كلما زادت كتلة الماء، كلما احتجنا إلى كمية حرارة أكبر لتسخينه لذلك فالغلاية المملوءة بالماء إلى نصفها، تحتاج لتسخينها درجة حرارة معينة، نصف كمية الحرارة التي تحتاجها نفس الغلاية إذا ملأت بالماء وسخنت إلى نفس تلك الدرجة.

ولو سخن إناءان متماثلان بمسخن واحد، بحيث أن الإناء الأول يحتوي على كتلة 200 جم، من الماء والثاني يحتوي على كتلة 400 جم، سنلاحظ أن الماء الموجود في الإناء الأول يغلي قبل الماء الموجود في الإناء الثاني، ومن هذا نستنتج أن كمية الحرارة المعطاة للجسم أثناء تسخينه تعتمد على كتلة ذلك الجسم وعند ترك الجسم الساخن يبرد فإنه سوف يعطي إلى المحيط الخارجي كمية حرارة أكبر كلما كانت كتلته أكبر.

3. والآن لنحاول أن نجري تجربة لتسخين محتويات إناءين متشابهين، الأول يحتوي على كتلة 400 جم ماء والثاني يحتوي على كتلة 200 جم ماء مع ثقل معدني كتلته 200 جم، أي أن كلا الإناءين يحتويان على كتلة 400 جم من المواد كما في الشكل (13)

وأن التشابه بين الإناءين المذكورين ليس فقط بكمية المواد الموجودة فيهما، بل وحتى في تسخينهما، وذلك باستعمال جهازي تسخين متشابهين أيضاً، لكن الفرق بينهما يكمن في أنه بدلاً من إضافة 200جم ماء في الإناء الثاني وضع ثقل معدني كتلته تساوي 200جم.



شكل(13)

لقد لوحظ عند قراءة الترمومترين الموجودين في كل من الإناءين، بعد فترة من التسخين، أن الإناء الثاني (الحاوي الماء والثقل المعدني) يسخن أسرع من الإناء الأول (الحاوي على الماء فقط) وأنه من أجل أن تتساوى درجة حرارة محتويات كل من الإناءين، وجب إعطاء الإناء الأول كمية حرارة أكبر من كمية الحرارة التي تعطي للإناء الثاني، لهذا فلتسخين كتل متماثلة من الماء والمعدن إلى درجة حرارة معينة تحتاج إلى كميات حرارة مختلفة، للماء كمية حرارة أكبر وللمعدن كمية حرارة أقل، وعلى هذا الأساس، فإن كمية الحرارة المعطاة إلى الجسم عند التسخين تعتمد أيضاً على نوع مادته المصنوع منها.

من كل ما تقدم نستنتج أن كمية الحرارة المعطاة لجسم معين عند تسخينه تعتمد على كتلة ذلك الجسم وعلى نوع مادته وكذلك على مقدار التغير في درجة حرارته.

وحدة كمية الحرارة

إن كمية الحرارة كما عرفنا في البند السابق تسمية تطلق على مقدار الطاقة الداخلية المعطاة أو المأخوذة من قبل الجسم، أثناء عملية التبادل الحراري وكيفية أشكال الطاقة الأخرى، فإن الطاقة الداخلية كما ذكرنا تقاس أيضاً بوحدات الجول أو بالأرك، ولكنه منذ زمن بعيد تستعمل في المختبرات وحدة خاصة لقياس كمية الحرارة تسمى السعر (CALORY)وهي مشتقة من الكلمة اللاتينية (كالور) التي تعني الحرارة أو السخونة.

إن السعر هو كمية الحرارة اللازم صرفها لتسخين 1 جم من الماء درجة مئوية واحدة وكذلك يمكن القول أن السعر هو كمية الحرارة التي يفقدها 1 جم من الماء إلى المحيط الخارجي عندما تهبط درجة حرارته درجة مئوية واحدة.

وفي التكنولوجيا تستعمل عادة وحدة أكبر من السعر لقياس كمية الحرارة وهي الكيلو سعر التي تساوي 1000 سعر، وأن بين وحدات قياس كمية الحرارة (الجول، السعر والكيلو سعر) توجد علاقة حسابية وهي:

1 كيلو سعر= 1000 سعر.

1 سعر = 4.19 جول.

1 كيلو سعر= 4190 جول.

الحرارة النوعية: (ح ن)

لتسخين كجم واحد من الماء درجة مئوية واحدة يستلزم صرف كمية من الحرارة قدرها 4190 جول أو ما يعادل 1000 سعر (كيلو سعر) ولكنه عند تسخين كجم من مادة أخرى مثل المعدن، درجة مئوية واحدة فيستلزم صرف كمية من الحرارة تختلف عما هي عليه بالنسبة إلى الماء.

إن كمية الحرارة اللازمة لتسخين كجم واحد من أية مادة درجة مئوية واحدة، يمكن تعيينها في المختبر، وهي كمية فيزيائية تدعى بالحرارة التي سوف نرمز لها بالرمز (ح ن) و عليه فالحرارة النوعية تقاس بالوحدات التالية:

$$\frac{\text{جول}}{\text{كجم درجة}} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{كيلو سعر}}{\text{كجم درجة}} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{سعر}}{\text{كجم درجة}}$$

وفي الجدول التالي توجد قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المختلفة.

جدول يبين الحرارة النوعية لبعض المواد (ح ن)

المادة	جول / كجم	كيلو سعر / كجم .$د^0$ — سعر / كجم .$د^0$.م	المادة	جول / كجم .$د^0$	كيلو سعر / كجم .$د^0$.م — سعر / كجم .$د^0$.م
الرصاص	130	0.03	المنيوم	880	0.21
النحاس	380	0.09	الثلج	1800	0.43
الخارصين	380	0.09	الكيروسين	2100	0.51
الحديد الفولاذ	460	0.11	الكحول	2500	0.60
الزجاج	800	0.19	الماء	4200	1.0

فالحرارة النوعية للنحاس 380 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم .درجة}}$ وهذا يعني أن تسخين كجم من النحاس درجة مئوية واحدة يحتاج كمية من الحرارة مقدارها 380 جول (أو عند تبريد كجم من النحاس درجة مئوية واحدة فإنه يطلق كمية من الحرارة مقدارها 380 جول).

والحرارة النوعية تبين كم من الجولات أو السعرات التي تزداد فيها الطاقة الداخلية لكيلو جرام واحد من المادة، عند تسخينها درجة مئوية واحدة، لهذا فماء البحر والمحيطات عند تسخينه في الصيف، يمتص كمية حرارة كبيرة جداً، لذلك لا يكون الجو في الصيف في المناطق الساحلية حاراً بالنسبة للمناطق البعيدة عن الساحل، وفي الشتاء يبرد ماء البحر بإعطائه كمية كبيرة من الحرارة، ولذلك فالشتاء الساحلية يكون معتدلاً.

وبسبب كبر الحرارة النوعية للماء فإنه يعتبر من أحسن السوائل استعمالاً للتدفئة المنزلية.

والحرارة النوعية للمادة الواحدة لا تعتبر مقداراً ثابتاً ثبوتاً مطلقاً، فهي تعتمد على درجة حرارة المادة، فالحرارة النوعية للمواد الصلبة تقل درجة حرارتها ولكنها في حالة ثبوت درجة الحرارة، فإنها لا تتغير تغيراً كبيراً وذلك فهي تعتبر ثابتة، كما أن الحرارة النوعية للمادة المعينة تعتمد أيضاً على حالة تلك المادة (هل هي في حالة الصلابة أم هي في حالة السيولة أم الغازية) فالحرارة النوعية للثلج مثلاً أقل بمرتين من الحرارة النوعية للماء.

حساب كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجسم أو التي يعطيها عند تبريده

لقد عرفنا الكميات الفيزيائية التي تعتمد عليها كمية الحرارة وهي الكتلة، ونوع المادة وتغير درجة حرارتها، وكذلك عرفنا وحدات قياسها أن هذه المعلومات ضرورية جداً لحساب مقدار التغير في الطاقة الداخلية للجسم، عند حصول عملية التبادل الحراري، وبكلمات أخرى أنها ضرورية لحساب كمية الحرارة، فلحساب كمية الحرارة يجب أن نعرف الحرارة النوعية لها وكتلتها بالإضافة إلى درجة حرارتها الابتدائية والنهائية.

وبما أن الحرارة النوعية (ح ن) تمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كجم واحد من المادة، درجة مئوية واحدة، لذلك فعند تسخين جسم كتلته عدة كيلوجرامات بمقدار درجة مئوية واحدة فإننا سوف نحتاج إلى كمية من الحرارة أكثر بعدة مرات مما هي عليه فيما لو كانت كتلته كيلوجراماً واحداً.

وإذا رفعت درجة حرارة الجسم عدة درجات حرارة بدلاً من درجة مئوية واحدة فإن كمية الحرارة الضرورية سوف تزداد بعدد أكبر من المرات عما هي عليه عند رفع

درجة حرارته درجة مئوية واحدة، فلحساب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة قطعة من الفولاذ كتلتها 5 كجم مسم درجة الصفر المئوي إلى 600°م، نتبع الخطوات التالية:

1. لتسخين 1 كجم من الفولاذ درجة مئوية واحد يلزمنا 460 جول، لأن الحرارة النوعية للفولاذ 460 جول/ كجم، درجة لا حظ جدول رقم (4).
2. ولتسخين 5 كجم من الفولاذ درجة مئوية واحدة يلزمنا كمية تساوي خمسة أضعاف مقدار الحرارة النوعية أي: 460 × 5= 2300 جول.
3. ولتسخين 5 كيلو جرام من الفولاذ ورفع درجة حرارتها 600°م أكثر مما هي عليه يلزمنا كمية من الحرارة تعادل 600 ضعف المقدار 2300 جول أي أننا نحتاج 2300×600= 1380000 جول.

ومعروف هنا أن 600°م تمثل درجة الحرارة التي ارتفعت إليها درجة حرارة القطعة الفولاذية عما كانت عليه (درجة الصفر المئوي) أي أنها تساوي الفرق بين درجة حرارتها الابتدائية والنهائية.

ولهذا فلحساب كمية الحرارة اللازمة لتسخين جسم معين، يجب ضرب مقدار حرارته النوعية (ح ن) × كتلته× الفرق بين درجة حرارته الابتدائية والنهائية أي أن.

ح=ح ن×ك ($د_2$-$د_1$)

حيث أن (ح) هي كمية الحرارة، (ح ن) هي الحرارة النوعية لمادة الجسم، (ك) كتلته، $د_1$،$د_2$ هما درجة حرارته الإبتدائية والنهائية على التوالي.

مثال (1)

إناء حديدي كتلته 10 كجم يحتوي على كمية من الماء مقدارها 20 كجم، حسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الإناء ومحتوياته من 10° إلى 100°م.

الحل

إن المادتين، الحديد والماء سوف تسخنان معاً، ويحدث بينهما تبادل حراري لذلك يمكن اعتبار درجة حرارتهما متماثلة، فالإناء والماء سوف ترتفع درجة حرارتهما بمقدار 100°م -10°م= 90°م ولكن كمية الحرارة التي سوف يستلمها الماء لكي ترتفع درجة حرارته إلى 100°م وذلك بسبب الاختلاف في كتلتي المادتين ومقدار الحرارة النوعية لكل منهما.

∴ كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء (ح1)= ح ن1 ك 1($د_2$-$د_1$).

كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء ($ح_1$)= 460 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم .درجة}}$ × 10 × 90

كمية الحرارة التي يكتسبها الإناء ($ح_1$)= 400.000 جولاً.

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_2$)= ح $ن_2$ $ك_2$ ($د_2$-$د_1$)

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_2$)= 4200 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم .درجة}}$ × 20 × 90

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء ($ح_1$)= 7600000 جولاً.

∴ كمية الحرارة اللازمة = $ح_1$ + $ح_1$.

كمية الحرارة اللازمة = 400.000 + 7.600.000

كمية الحرارة اللازمة= 8.000.000 جولاً.

كمية الحرارة اللازمة= 8×10^{6} جولاً.

كمية الحرارة اللازمة= 8×10^{6} جول × $\frac{\text{كيلو سعر}}{\text{4190 جول}}$

كمية الحرارة اللازمة= 1900 كيلو سعر.

مثال (2)

مزج 0.8 كجم ماء بدرجة حرارة 25م بماء آخر كتلته 0.2 كجم ودرجة حرارته 100م فإذا كانت درجة الحرارة النهائية للخليط 40°م، فقارن بين كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن وبين كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد وناقش المسألة.

الحـل.

عندما برد الماء الساخن من درجة 100°م إلى 40°م لهذا فإن كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن هي:

($ح_1$)= ح ن ك ($د_2$−$د_1$).

($ح_1$)= 4200 $\frac{\text{كيلو سعر}}{\text{4190 جول}}$ × 0.2 × (40−100)

($ح_1$)= 50400 جولاً وهي كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن.

أما الماء البارد فقد سخن من 25°م إلى 40°م ولهذا فإن كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد.

($ح_2$)= 4200× $\frac{\text{جول}}{\text{كجم . درجة}}$ × 0.8 × (40−25) درجة

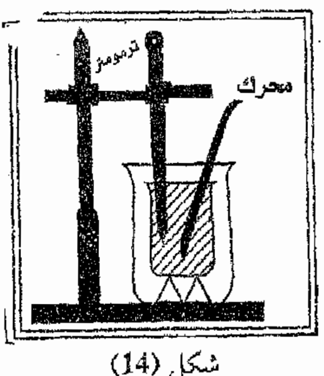
($ح_2$)= 50400 جولاً وهي كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد.

وعلى هذا الأساس فإن $ح_1$=$ح_2$ أي أن كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن قد امتصها كاملة البارد لرفع درجة حرارته في التجربة، ولكن يجب أن نأخذ بعين الاعتبار

أن حالة تساوي الحرارة (ح$_1$) و (ح$_2$) هي حالة مثالية إذ لا يمكن الحصول على هذا التساوي إلا إذا عزل جهاز التجربة عزلاً تاماً فالحرارة من المخلوط سوف تنتقل إلى الهواء إذا جرت التجربة بدون العزل التام وأن الفرق بين كمية الحرارة المكتسبة (ح$_1$) وكمية الحرارة المفقودة (ح$_2$) يقل كلما ازداد عزل جهاز التجربة، أي كلما قل احتمال تسرب الحرارة إلى المحيط الخارجي ولكن يمكن أن يقال من الناحية العملية أن:

كمية الحرارة المفقودة= كمية الحرارة المكتسبة

وفي الحالات التي يجب فيها قياس كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة خلال عملية التبادل الحراري بشكل دقيق ومضبوط يستعمل لهذا الغرض جهاز يسمى المسعر (الكالوري ميتر) وهو كما مبين في الشكل (14) يتألف من إناءين، خارجي- كبير وداخلي- صغير معزولين عن بعضهما البعض من الأسفل بمادة عازلة، والإناء الداخلي مصنوع من مادة جيدة التوصيل للحرارة كالنحاس مثلاً، وذلك لكي تكون درجة حرارته هي نفس درجة حرارة السائل الذي في داخل وفي الإناء الداخلي الذي يلامس الإناء الخارجي يوضع ترمومتر لقياس درجة الحرارة كما يوضح محرك لخلط المحتويات كما في الشكل (14).



شكل (14)

السعة الحرارية: $سع_ح$

تعرف السعة بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم بأكمله درجة مئوية واحدة، فإذا كانت كتلة الجسم تساوي (ك) وان حرارته النوعية (ح ن) فإن السعة الحرارية لذلك الجسم:

$سع_ح = ح_ن \times ك$.

لكن كمية الحرارة (ح)= $ح_ن$ ك $(د_2 - د_1)$

∴ (ح)= $سع_ح$ $(د_2 - د_1)$

ومن ملاحظتنا للمعادلة السابقة نجد أنه إذا كان الجسم مصنوع من مواد مختلفة فإنه من الأنسب وصف التغير الحاصل في طاقته الداخلية بمساعدة السعة الحرارية.

ومن المعادلة السابقة أيضاً نجد أن:

$$سع_ح = \frac{ح}{د_2 - د_1}$$

ومن المعادلات السابقة نجد أن وحدة السعة الحرارية هي:

جول/ درجة، كيلو سعر/ درجة أو سعر/ درجة.

مثال (1)

أحسب السعة الحرارية لكتلة من النحاس مقدارها 20 كجم إذا علمت أن حرارتها النوعية $380 \frac{جول}{كجم . درجة}$

الحل: $سع_ح = ح_ن \times ك$.

∴ $سع_ح = 380 \frac{جول}{كجم . درجة} \times 20$ كجم.

السعة الحرارية= 7600جول/ درجة.

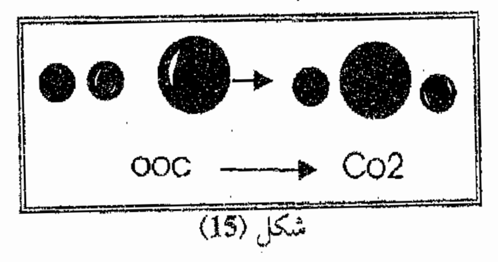
طاقة حرق الوقود

من المعروف أن المادة تتكون من ذرات فجزئية المادة (H_2O) مثلاً تتكون من ذرة أوكسجين واحدة متحدة مع ذرتي هيدروجين.

لقد أثبتت التجارب أن تكون الجزيء من ذرات منفصلة (مثلاً ذرة أوكسجين وذرتي هيدروجين التي تكون (جزيء الماء)، يؤدي إلى إعطاء طاقة إلى الوسط الخارجي، بينما تجزئة الجزيء نفسه إلى ذراته المكونة له يتطلب صرف، طاقة كافية للتغلب على قوى التجاذب بين الذرات المكونة لذلك الجزيء، ويمكن فهم عملية الارتباط بين ذرات الجزيء بالمثال التالي:

إن بين الأرض وكل الأجسام الموجودة عليها توجد قوة جذب، فإذا رفعنا جسماً من سطح الأرض، تطلب ذلك صرف شغل للتغلب على جاذبية الأرض، وعلى العكس إذا ترك ذلك الجسم يسقط إلى الأرض بتأثير قوة جذب الأرض فإنه في هذه الحالة يمتلك طاقة وبإمكانه أن ينجز شغلاً، كما مر معنا.

إن استعمال الوقود كالخشب والفحم والنفط وغيره أثناء الحرق يستند إلى حقيقة أن تكون الجزيء من ذراته المنفصلة، يؤدي إلى إعطاء طاقة إلى الوسط المحيط، فالأنواع التي ذكرناها من الوقود تحتوي على عنصر الكربون في تركيبها، وعند الاحتراق فإن ذرة الكربون هذه تتحد مع ذرات الأوكسجين الموجودة في الهواء، حيث أن كل ذرة كربون تتحد بذرتين من الأوكسجين، كما في الشكل (15) لتكون جزئية من غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، وأن هذا الاتحاد يؤدي إلى إعطاء طاقة حرارية.



شكل (15)

توجد في الطبيعة أنواع مختلفة من الوقود: الفحم الحجري والفحم النباتي، الخشب، النفط، الغاز القابل للاشتعال..الخ، وعند تصميم المحركات التي تشتغل بالوقود، يجب أن نعرف بالضبط كمية الحرارة التي يعطيها ذلك الوقود عند حرقه، وأن هذا يستلزم معرفة كمية الحرارة التي نحصل عليها من حرق كميات متساوية من أنواع مختلفة من الوقود عن طريق التجربة،

إن كمية الحرارة الناتجة من الحرق الكامل للكيلو جرام واحد من الوقود تسمى حرارة حرق الوقود، والتي يمكن تحديدها في المختبر باستعمال أجهزة معقدة التركيب، وهي تقاس بوحدات جول/كجم، كيلوسعر/ كجم أو سعر/جم، وفي الجدول التالي مقادير حرارة حرق بعض أنواع الوقود.

جدول يبين حرارة حرق الوقود

الوقود	جول/كجم	سعر/كجم أو كيلو سعر/كجم
خشب جاف	1.0×10^{7}	2500
فحم نباتي	1.4×10^{7}	3400
فحم حجري	2.9×10^{7}	7000
الكحول	2.7×10^{7}	6500
فحم الخشب	3.1×10^{7}	7000
غاز طبيعي	4.4×10^{7}	10400
النفط	4.4×10^{7}	10500
البنزين	4.6×10^{7}	11000
الكيروسين	4.6×1^{7}	11000
الهيدروجين	14×10^{7}	34000

ومن الجدول السابق يتضح أن حرارة حرق فحم الخشب تساوي 3.1×10^7 جول/كجم أو ما يعادل 6500 كيلو سعر/ كجم، وهذا يعني أن الحرق الكامل لكجم واحد من فحم الخشب يؤدي إلى إعطاء 3.1×10^7جول أو 6500 كيلو سعر من الحرارة.

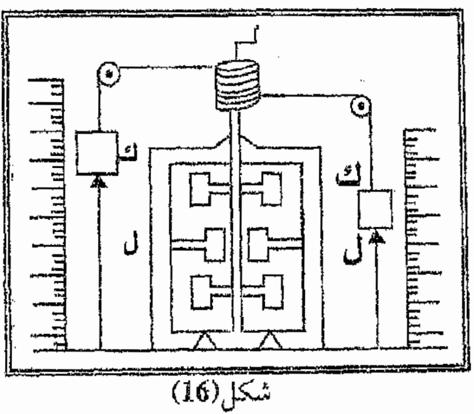
ولحساب كمية الحرارة الناتجة من حرق أي كتلة من الوقود يجب إجراء عملية ضرب حرارة حرق ذلك الوقود×كتلته المحترقة بشكل تام.

تغير الطاقة الداخلية في عملية إنجاز الشغل- تجربة جول

أن الظواهر الحرارية في الأجسام كما مر معك مشروطة بحركة جزيئاتها وذراتها، لكن عملية تسخين الجسم لا تتم فقط بطريقة انتقال الحرارة من جسم إلى آخر (عملية تبادل حراري) وإنما تتم أيضاً عند إنجاز شغل على الجسم بطرقة أو تغيير شكله أو دلكه كما ذكرنا.

وهنا يطرح السؤال التالي: هل أن مقادير الشغل المتساوية المنجزة على جسم تنتج كميات حرارة متساوية من كل حالة من حالات إنجاز الشغل.

وللإجابة على هذا السؤال أجرى العالم د. جول عام 1843م تجربته الشهيرة، لاحظ شكل (16)



شكل(16)

فالثقلان (ك) في الجهاز المبين في الشكل معلقان بخيطين يمران حول بكرتين ويلفان على إسطوانة، يمكن تدويرها يدوياً، وهذه الإسطوانة الدوارة متصلة بوتد يدخل داخل مسعر الخلط وقد ربطت صفائح دوارة (تدور مع الوتد عند دورانه).

أما مسعر الخلط، فقد صمم بشكل خاص، إذ يحتوي على صفائح ثابتة، وتوجد بين صفائح المسعر الثابتة هذه وصفائح الوتد الدوارة مسافات صغيرة لغرض زيادة الاحتكاك داخل المسعر.

عمل الجهاز: ترتفع الاثقال إلى أعلى بواسطة تدوير الأسطوانة كما مبين في الشكل، ثم يثبت المقبض لمنع الإسطوانة من الدوران العكسي ونزول الأثقال بعدها يملأ المقبض لمنع الإسطوانة من الدوران العكسي ونزول الأثقال بعدها يملأ المسعر بسائل مثل الماء وعند تحرير مقبض الإسطوانة تهبط الأثقال (ك) كل من الجهتين فتنزل بفعل جاذبية الأرض إزاحة مقدارها (ل) مؤدية بذلك إلى تدوير الأسطوانة والتي بدورها تؤدي إلى تدوير صفائح الوتد الدوارة، وعند إهمال الاحتكاك في البكرات الصغيرة فإنه يمكن القول بأن الطاقة الميكانيكية التي تعادل الشغل الذي أنجزه نزول الأثقال (ك) والذي يساوي (2ك×ل) تتحول إلى طاقة داخلية للمسعر والماء الموجود في داخله إلى أن هذه الطاقة الميكانيكية تؤدي إلى تسخين المسعر ومحتوياته من الماء.

وعند قياس درجة حرارة المسعر بواسطة الترمومتر، يمكن لنا تحديد العلاقة بين الشغل الميكانيكي المنجز (من نزول الأثقال ك) والزيادة الحاصلة في الطاقة الداخلية للمسعر ومحتوياته.

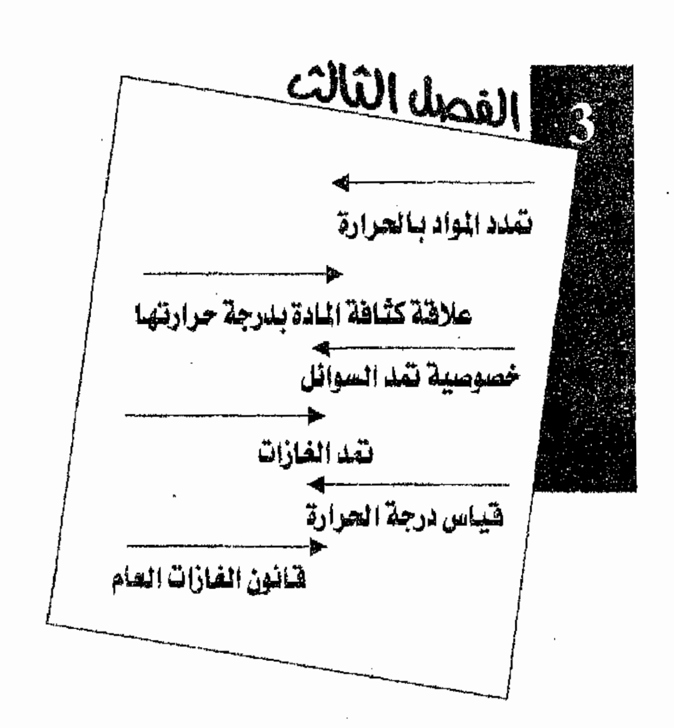
لقد وجد باستخدام هذه التجربة أن تسخين 1 كجم من الماء من 19.5°إلى 20.5م يستلزم صرف طاقة (شغل) مقدارها 4186.8 جولاً وهذا يعني ان الحرارة النوعية للماء (ح ن) = 4186.8 جول/ كجم درجة.

لكن (ح ن) للماء= 1 كيلوسعر/ كجم، درجة كما هو معروف لدينا.

∴ 1 كيلو سعر= 4186.8 جولاً.

وعند تقريب هذا المقدار نجد ان:

1 كيلو سعر= 4190 جولاً.


الفصل الثالث
3
تمدد المواد بالحرارة
علاقة كثافة المادة بدرجة حرارتها
خصوصية تمدد السوائل
تمدد الغازات
قياس درجة الحرارة
قانون الغازات العام

الفصل الثالث

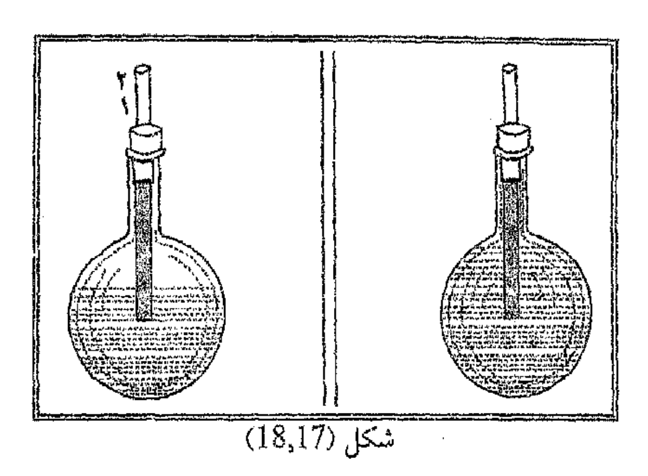
تمدد المواد بالحرارة

لماذا وكيف تتمدد المواد بالحرارة؟

لقد مر معك في سنوات دراستك الماضية أن للحرارة تأثيرات على الأجسام من بينها أن جميع الأجسام عند تسخينها تتمدد وعند تبريدها تتقلص، ما عدا بعض المواد التي تشذ عن هذه القاعدة مثل الماء عندما يكون في حدود درجات حرارة معينة ذلك أن الزيادة في درجة حرارة الجسم يؤدي كما مر معك إلى زيادة متوسط الطاقة الداخلية لجزيئاته، وهذا يعني أيضاً زيادة متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئات الجسم مما يؤدي إلى تمدد الجسم عند ارتفاع درجة حرارته، أما إذا انخفضت درجة حرارة الجسم، فإن هذا يؤدي إلى انخفاض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته أيضاً وبالتالي يؤدي إلى تقلص الجسم.

والآن لجري التجربة التالية لإيضاح هذه الخاصية:

1. لنأخذ قطعة من أنبوب زجاجي مفتوح الطرفين وندخل فيه كمية صغيرة من الزئبق ثم ندخل الأنبوب في دورق خلال سداد فليني، يغلق الدورق بإحكام، كما في الشكل (17).



شكل (18,17)

ثم نسخن الهواء الموجود في الدورق (حرارة اليد كافية لتسخينه) سنلاحظ تحرك عمود الزئبق الموجود في الأنبوبة إلى الأعلى دلالة على تمدد الهواء عند التسخين.

2. لنضع في دورق ماء ملون ولنغلقه بإحكام بواسطة سداد يخترقه أنبوب زجاجي كما في الشكل (18) بحيث يرتفع الماء الملون إلى العلامة (1) على الأنبوب الزجاجي، فإذا سخنا الدورق سنلاحظ أن الماء الملون يرتفع إلى الأعلى حتى العلاقة (2) دلالة على تمدد الماء عند تسخينه.

لقد أكدت التجارب، أن تمدد السوائل أقل من تمدد الغازات، وأن المواد الصلبة أيضاً تتمدد بالحرارة ولكن تمددها أقل من تمدد السوائل، وان هذا التمدد يمكن إظهاره بالتجربة التالية: فإذا أخذنا كرة معدنية يمكن أن تدخل بسهولة خلال حلقة معدنية في درجة حرارة الغرفة، فعند تسخين هذه الكرة إلى درجات حرارة أعلى نلاحظ عدم إمكانية دخولها خلال الحلقة.

التمدد الطولي للمواد الصلبة

في حالات كثيرة تدعو الحاجة في التكنولوجيا إلى حساب التغير الحاصل في أبعاد المواد الصلبة في اتجاه واحد فقط، مثل حساب التغير في طول أسلاك الكهرباء بين عمود وآخر من أعمدتها وليس حساب مقدار التغير في قطر تلك الأجسام عند زيادة درجة الحرارة أيام الصيف أو انخفاضها أيام الشتاء ففي الصيف تزداد درجة الحرارة فتتمدد أسلاك الكهرباء ويزداد طولها، بينما في الشتاء تنخفض درجة الحرارة فتتقلص تلك الأسلاك ويقصر طولها.

إن التغير الحاصل في بعد واحد من أبعاد الجسم عند تغير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة يدعى بالتمدد الطولي (أو التقلص الطولي في حالة انخفاض درجة الحرارة درجة مئوية واحدة).

فإذا رمزنا إلى طول الجسم الأصلي في درجة حرارة د° م بالرمز (ل .) ورمزنا إلى طوله في درجة حرارة دْ م بالرمز (ل د)، فإن التمدد الطولي للجسم Δ ل=ل د-ل. ، وقد أكدت التجربة أن التمدد الطولي للجسم عند التسخين يتناسب طردياً مع طول الجسم الأصلي ومع مقدار الزيادة في درجة الحرارة (Δ د) حيث أن Δ د=د-د. ولهذا فإن الزيادة في طول الجسم يمكن وصفها في الصيغة الرياضية:

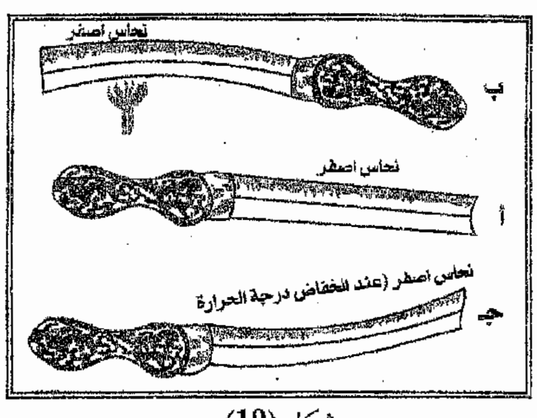
Δ ل α ل . Δ د

ومنه نجد أن:

ل = م$_{ط}$ × ل . Δ د

حيث أن (م ط) معامل التناسب هو مقدار واحد لجميع الأجسام المصنوعة من مادة واحدة كما تؤكد التجارب ولكنه يختلف بالنسبة للأجسام المصنوعة من مواد مختلفة، ويطلق عليه اسم معامل التمدد الطولي، ويرمز له بالرمز (م ط).

لنأخذ شريطاً معدنياً مزدوجاً وهو عبارة عن شريطين معدنيين مختلفين مثل الحديد و النحاس وقد ثبتا فوق بعضهما باللحام أو بالمسامير، كما في الشكل (19).



شكل (19)

فلو كان التسخين يؤدي إلى تمدد المعادن المختلفة بمقدار واحد، فإن الشريط المزدوج سوف يبقى على استقامته دون تقوس ولكن التجربة تثبت أن تسخين الشريط المزدوج يؤدي إلى تقوسه بحيث يكون النحاس، الشريط الخارجي من القوس لأن تمدد النحاس أكبر من تمدد الحديد، عندما يكون المعدنان في ظروف تسخين واحدة لاحظ شكل (46-ب).

إن معامل التمدد الطولي (م ط)= $\frac{\Delta ل}{ل \times \Delta د}$ (2)

ومن المعاملة (2) يمكن أن نعرف معامل التمدد الطولي، بأنه نسبة الزيادة الحاصلة في طول الجسم إلى طوله الأصلي، عند ارتفاع درجة الحرارة بالتسخين درجة مئوية واحدة، أما وحدة قياس (م ط) فهي كما نستنتج من المعادلة رقم (2) (درجة) $^{-}$.

نشير هنا إلى أن (م ط) يزداد بازدياد درجة الحرارة ولكن تلك الزيادة قليلة جداً إلى حد يمكن إهمالها فيه وخاصة عند عدم حدوث تغير في درجة الحرارة ولهذا يعتبر (م ط) مقداراً ثابتاً لكل مادة.

في الجدول التالي قيم (م ط) التي استحصلت بالتجربة.

جدول يوضح قيم معامل التمدد الطولي لبعض المواد

المادة	م ط (درجة)$^{-1}$		المادة	م ط (درجة)$^{-1}$
الألمنيوم	0.000023		النحاس	0.000017
البرونز	0.000018		الرصاص	0.000028
الفولاذ	0.000012		الزجاج	0.000009
الذهب	0.000014		الأبونايت	0.000070
الثلج	0.000051			

ملحوظة: اشتقاق وحدة قياس م ط.

$$م ط = \frac{\Delta ل}{ل_. \times \Delta د} = \frac{سم}{سم \times درجة الحرارة}$$

$$م ط = \frac{1}{درجة} = درجة^{-1}$$

وبما أن $\Delta ل = ل_2 - ل_1$ ، $\Delta د = د - د.$

$$فإن م_ط = \frac{ل_د - ل_0}{ل_0 (د - د_0)}$$

ومنه نجد أن:

$$ل_د = ل_. [1 + م ط (د - د_.)] \quad (3)$$

أي أن الطول النهائي بعد التسخين (ل د) يساوي حاصل ضرب الطول الأصلي (ل .) مضروباً في مجموع (حاصل ضرب معامل التمدد الطولي في فرق درجات الحرارة مضاف إليه واحد).

مثال (1)

أحسب الطول النهائي لقضيب نحاسي طوله 100سم في درجة 20°م عند تسخينه إلى درجة 100°م، (م ط) للنحاس 0.000017 درجة −1

الحل

ل د= ل. [1+ م ط (د−د.)]

∴ ل $_{120°م}$= 100سم [1+0.000017 $\frac{1}{\text{درجة}}$ (120−10) درجة]

=100سم [1+0.000017 ×100]

=100سم × 1.0017

ل120°م=100.17 سم الطول النهائي بعد التسخين.

التمدد الحجمي للأجسام: م$_ح$.

التمدد الحجمي هو تمدد الجسم في جميع الاتجاهات، وسوف نتطرق هنا فقط إلى الأجسام التي يكون تمددها الحجمي متماثلاً.

فإذا رمزنا إلى حجم الجسم الأصلي (ح) وإلى حجمه في درجة دْم يساوي (ح$_د$)، فإن التغير في الحجم Δ ح=ح د−ح.

إن التغير في حجم الجسم عند التسخين (Δ ح) هو الآخر يتناسب طردياً مع الحجم الأصلي (ح) ومع تغير درجة الحرارة (Δ د)، أي أن:

Δ ح = م$_ح$ × ح . Δ د

ومعامل التناسب (م$_ح$) يسمى معامل التمدد الحجمي وهو كمية فيزيائية تبين علاقة التمدد الحجمي بنوع مادة الجسم، ومن المعادلة السابقة نجد أن:

$$م_ح = \frac{\Delta ح}{ح.\Delta د}$$

ومن المعادلة السابقة واضح أن وحدة قياس معامل التمدد الحجمي (درجة)$^{-1}$ أيضاً.

ولما كان $\Delta ح = ح_د - ح_0$ ، $\Delta د = د - د_0$

فإن $م_ح = \frac{ح_د - ح_0}{ح_0 (د - د_0)}$

ومنه نجد أن:

ح د=ح [1+م ح (د-د.)].

أي أن الحجم النهائي للجسم يساوي حاصل ضرب الحجم الأصلي × معامل التمدد الحجمي× فرق درجات الحرارة + واحد.

علاقة كثافة المادة بدرجة حرارتها

إن مقدار كتلة الجسم كما هو معروف لا يمكن أن يتغير درجة الحرارة بينما يتغير حجم الجسم كما بينا عند تغير درجة الحرارة، وعلى هذا الأساس فإن كثافة مادة الجسم (ث) يجب أن تتغير بتغير درجة الحرارة.

فإذا فرضنا أن الكثافة الأصلية (ث) فإن:

$$ث_د = \frac{ك}{ح_0}$$

ولكن عند تغير درجة الحرارة فتصبح مساوية إلى ذم مثلاً، فإن:

$$ث_د = \frac{ك}{ح_د}$$

لكن ح د= ح [1+م ح (د-د.)] وعلى هذا الأساس فإن:

$$ث_د = \frac{ك}{ح_0[1+م_ح(د-د_0)]}$$

ومن قسمة طرفي المعادلة رقم (ب) على طرفي المعادلة رقم (أ) نجد ان:

$$ث_د = \frac{ث_0}{[1+م_ح(د-د_0)]}$$

أي أن كثافة المادة في أي درجة حرارة تساوي كثافتها في درجة الصفر المئوي، مقسوماً على مجموع (1+ حاصل ضرب معامل التمدد الحجمي× فرق درجات الحرارة).

ومن المعادلة الأخيرة نجد أن كثافة المادة تقل بازدياد درجة الحرارة، ولكنها تزداد في حالة انخفاض درجة الحرارة.

خصوصية تمدد المواد الصلبة بالتسخين.

العلاقة بين معاملي التمدد الحجمي والطولي ($م_ط$، $م_ح$):

لقد جرت العادة إعطاء قيم معامل التمدد الطولي في الجداول فقط ولا تدرج فيها معامل التمدد الحجمي وذلك بسبب بساطة حساب معامل التمدد الحجمي إذا عرفنا معامل التمدد الطولي، ذلك أن معامل التمدد الحجمي يساوي تقريباً ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي، أي أن:

$م_ح = 3م_ط$.

فلإيجاد معامل التمدد الحجمي نجري عملية ضرب بسيطة (3× مقدار معامل التمدد الطولي).

وعلى هذا الأساس فإن معادلة الحجم النهائي ستأخذ الشكل التالي:

$$ح_د = ح_. [1 + 3م_ط (د - د_.)]$$.

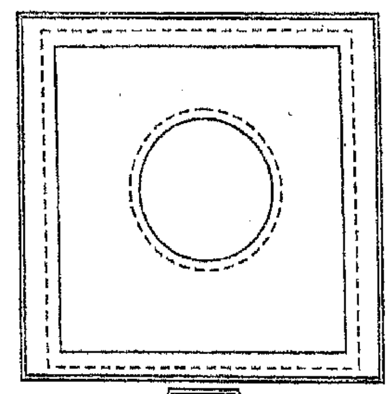
زيادة كبر الثقوب الموجودة في الأجسام الصلبة عند تسخينها

لنفرض وجود صفيحة معدنية حاوية على ثقب كروي في وسطها كما في الشكل (20).

فالتجربة تبين لنا أن ارتفاع درجة حرارة الصفيحة يؤدي ليس فقط إلى زيادة مساحتها بل ويؤدي كذلك إلى زيادة كبر الثقب الموجودة فيها، وهذا موضح في الشكل (47) بالخطوط المنقطة، ومثل هذه النتيجة المختبرية تبدو غريبة للوهلة الأولى، إذ لو فرضنا أن الصفيحة تتمدد خارجاً وداخلاً.

(داخل الثقب) عند التسخين، فإن ذرات المعدن الموجودة على محيط الثقب ستقترب من بعضها البعض وسيصغر بذلك محيط الثقب، ولكننا نعرف أن التسخين يؤدي إلى زيادة المسافات بين ذرات المعدن وليس إلى نقصانها.

فإذا رسمنا دائرة على صفيحة غير مثقوبة فإن تسخين الصفيحة سوف يؤدي على هذا الأساس إلى زيادة محيط الدائرة المرسومة حتى ينطبق على الخط المنقط كما مبين في الشكل (20) عند بلوغها نفس درجة حرارة الشق الأول من التجربة.



شكل **(20)**

لهذا فإن الثقوب والتجاويف في الجسم الصلب تزداد عند التسخين، وتقل عند التبريد (أي تتناقص).

خصوصية تمدد السوائل

في الفقرات السابقة ذكرنا أن السوائل تتمدد بالحرارة أكثر مما هو عليه في المواد الصلبة ، وهذا يمكن ملاحظته عند مقارنة معاملات التمدد الحجمي للسوائل مع معاملات التمدد الحجمي للمواد الصلبة.

الجدول التالي يبين قيم معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل

جدول المعاملات التمدد الحجمي لبعض السوائل (درجة –1)

السائل	م ح
الاسبتون	0.0014
الكلسيرين	0.0005
الكيروسين	0.0010
الزئبق	0.00018
الكحول الإيثيلي	0.0010

المادة	م ح
الماء عند	
5°م–10°م	0.00053
10°م–20م	0.000150
20°م–40م	0.000302

أن تسخين إناء يحتوي على سائل لا يؤدي إلى تمدد السائل فحسب وإنما يؤدي أيضاً إلى تمدد الإناء نفسه، ولما كان تمدد السوائل أكبر من تمدد المواد الصلبة بشكل عام فإن تمدد السوائل على الدوام أكبر من تمدد الأواني الحاوي لها، وأن ملاحظة زيادة حجم السوائل الموجودة في الأواني أثناء التسخين دليل على ذلك.

وهكذا فإن التمدد المنظور للسائل أثناء التسخين يكون دائماً أقل من تمدد السائل نفسه (تمدده الحقيقي).

إن التمدد المنظور للسائل يطلق عليه اسم التمدد الظاهري.

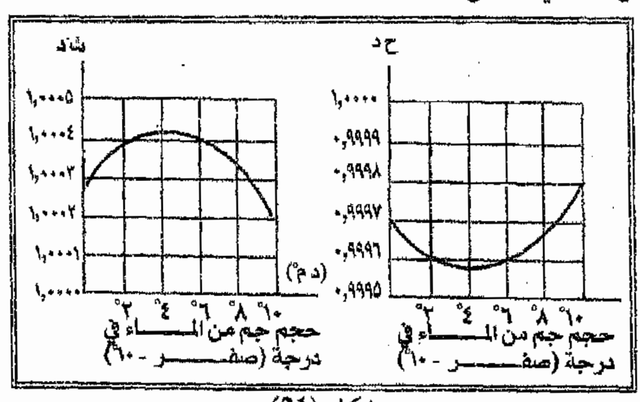
ولهذا يمكن القول بأن التمدد الحقيقي للسوائل عند التسخين يساوي التمدد الظاهري مضافاً إليه تمدد الإناء الذي يحتوي على السائل، فإذا فرضنا أن:

التمدد الحقيقي= التمدد الظاهري+ تمدد الإناء.

شذوذ تمدد الماء:

ذكرنا في الفقرات السابقة أن جميع المواد تتمدد بالحرارة ما عدا بعض المواد التي تشذ عن هذه القاعدة، والماء من بين هذه المواد، فالتجربة تبين أن الماء عند ارتفاع درجة حرارته من الصفر المئوي إلى 4م يتقلص حجمه.

وعند انخفاض درجة حرارته من 4م إلى الصفر المئوي يتمدد فيزداد حجمه ولكن عندما تبدأ درجة حرارة الماء بالارتفاع ابتداءاً من 4م فإنه يتمدد ويزداد حجمه وعلى هذا الأساس فإن حجم كتلة من الماء يبلغ في 4م أقل ما يمكن مما يؤدي إلى أن تكون كثافته أكبر ما يمكن، كما في الشكل (21).



شكل (21)

إن هذه الظاهرة تلعب دوراً كبيراً في الطبيعة حيث أنها تقي الأحياء المائية من التجمد فتساعدها على البقاء في المناطق الباردة ذلك أن مياه سطح الأنهار والبحيرات والمحيطات في هذه المناطق تنخفض درجة حرارتها إلى 4°م تزداد كثافتها لتنزل إلى

الأعماق، إذا استمرت درجة حرارة الهواء بالإنخفاض فإن مياه السطح تبدأ بالتمدد فتقل كثافتها لذلك تتجمد مياه سطح الأنهار والبحيرات وحتى المحيطات بينما تبقى درجة حرارة مياه الأعماق 4ºم مما يجنب الأحياء المائية من التجمد ويمكنها من العيش كما ذكرنا.

مثال (1)

أ) أحسب كم يكون حجم 100 لتراً من الكيروسين في درجة الصفر المئوي، عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 40°م علماً بأن معامل التمدد الحجمي للكيروسين يساوي 0.0010 درجة -1 (أحسب الحجم بالأمتار).

الحل

100 لتر= 100 لتر× 1000 $\frac{\text{سم}^3}{\text{لتر}}$

100 لتر= 10°سم^3 حجم الكيروسين عند درجة (0°م).

ح د= ح [1+م$_ح$ (د-د.)]

ح$_{40}$= 10° سم^3 [1+0.0010 $\frac{1}{\text{درجة}}$(40-0) درجة]

ح$_{40}$ = 10°سم^3 × 1.04

ح$_{40}$ = 104000 سم^3 × $\frac{1\text{لتر}}{1000\ \text{سم}^3}$

ح$_{40}$= 104 لتراً يصبح حجم الكيروسين في درجة حرارة (40ºم).

ب) قنينة حجمها يساوي 400 سم^3 والكثافة الزجاجية لها بدرجة الصفر المئوي ملئت إلى حافتها بالزئبق وسخنت إلى درجة 100ºم، وقد خرج منها عند التسخين 6.12 سم^3 من الزئبق، أحسب معامل التمدد الحجمي للزئبق، إذا علمت أن (م ط)للزجاج= 0.000009 درجة -1.

الحـــل

حجم القنينة في درجة الصفر المئوي= 400 سم 3.

$ح = 400 سم^3 \times \frac{م}{10 سم^3} = 4\times10^{-4} م^3$

خرج من الزئبق عند التسخين 6.12سم^3 فالتمدد الظاهري للزئبق

$ح_ظ = 6.12 سم^3$

$= 6.12 سم^3 \times \frac{م}{10^6 سم^3} = 6.12 \times 10^{-6} م^3$

معامل التمدد الحجمي للزجاج= 3 معامل التمدد الطولي.

معامل التمدد الحجمي للزجاج= 0.000009 درجة $^{-1}$ ×3

= 0.000027 درجة $^{-1}$ للزجاج.

$م_{ح زئبق} = \frac{\Delta ح}{ح \Delta د}$ معامل التمدد الحجمي للزئبق.

لكن $\Delta ح_{الحقيقية} = \Delta ح_ظ + \Delta ح_{للزجاج}$

أي أن الزيادة الحقيقة = الزيادة الظاهرة+ الزيادة في حجم الزجاج.

$\therefore م_ط للزئبق = \frac{الزيادة الحقيقية}{الحجم الأصلي \times فرق درجات الحرارة}$

$= \frac{الزيادة الظاهرية + زيادة حجم الزجاج}{الحجم الأصلي \times فرق درجات الحرارة}$

∴ (م ح) = $\dfrac{6.12\times10^{-6}\text{ م}^3 + 0.000027\text{ درجة}^{-1}\times4\times10^{-4}\text{ م}^3\times100\text{ درجة}}{\text{الحجم الأصلي}\times\text{فرق درجات الحرارة}}$

∴ (م ح) معامل التمدد الحجمي للزئبق يساوي 0.00018 درجة $^{-1}$

تمدد الغازات

لقد مر معك أنه عند إجراء أية عملية على غاز، فإن عوامله الثلاث (الحجم والضغط ودرجة الحرارة) سوف تتغير جميعها في آن واحد.

لكن أبسط العمليات التي تجري على الغاز، هي التي تحصل نتيجة لظروف يمكن من خلالها أن يتغير عاملان فقط من هذه العوامل الثلاث، مثل تغير الضغط والحجم، وبقاء درجة الحرارة ثابتة، أو تغير الضغط ودرجة الحرارة وبقاء الحجم ثابتاً، او تغير الحجم ودرجة الحرارة وبقاء الضغط ثابتاً.

وإن مثل هذه العمليات تسمى بعمليات التساوي، فالعملية التي تجري بتغير الضغط والحجم والتي تبقى خلالها درجة حرارة الغاز ثابتة دون تغير تسمى عملية تساوي درجة الحرارة (عملية إيزوثيرمية) والعملية التي تجري على الغاز بتغير الضغط ودرجة الحرارة وبقاء حجمه ثابتاً دون تغير، تسمى عملية تساوي الحجم (عملية أيزوكورية) اما العملية التي كون فيها الضغط ثابتاً ويتغير الحجم ودرجة الحرارة فتسمى عملية تساوي الضغط (عملية أيزوبارية).

العملية الإيزوثيرمية – قانون بويل- ماريوت

كما ذكرنا في هذه العملية التي تجري على الغاز تبقى درجة الحرارة ثابتة بينما يتغير حجم الغاز وضغطه.

ففي الشكل (22) جهاز لإجراء عملية إيزوثيرمية على الغاز، والجهاز محكم الإغلاق ويتكون من اسطوانة تحتوي على

كمية ثابتة من الغاز، وفيها مكبس يمكن تحريكه صعوداً ونزولاً بحيث يمكننا من التحكم بحجم الغاز داخل الأسطوانة كما يوجد في الأسطوانة مقياس لضغط الغاز، مانوميتر (ن).

في الحالة الأولى: حجم الغاز بقدر حجم الأسطوانة لأن المكبس في أعلاها نقرأ المانوميتر ونسجل مقدار ضغط الغاز فإذا كان حجم الغاز في هذه الحالة= $ح_1$ فإن ضغطه= $ض_1$.

وفي الحالة الثانية: حجم الغاز نصف حجم الأسطوانة، وعندما نقرأ الضغط نجده ضعف مقدار الضغط الأول، أي عندما:

$$ح_2 = \frac{1}{2} ح_1 \quad ، \quad ض_2 = 2ض_1$$

وفي الحالة الثالثة: حجم الغاز ثلث حجمه الأصلي، وعندما نقرأ الضغط نجده يساوي ثلاثة أمثال ضغطه الأول، أي عندما:

$$ح_3 = \frac{1}{3} ح_1 \quad ، \quad ض_3 = 3ض_1$$

وهكذا نلاحظ أن ضغط الغاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة يتغير عكسياً مع الحجم، أي أن:

$$\frac{ض_1}{ض_2} = \frac{ح_1}{ح_2}$$

أو أن: $ض_1 \times ح_1 = ض_2 \times ح_2$ = كمية ثابتة.

لهذا فإن الحرارة النوعية للمواد بوحدات (جول/كجم) درجة تساوي حاصل ضرب مقدارها.

$$\text{بوحدات } \frac{\text{كيلو سعر}}{\text{كج . درجة}} \times 4190 \frac{\text{جول}}{\text{كيلو سعر}}$$

إن هذه الحقيقة تكون أساس قانون بويل- ماريوت الذي ينص على أن: «حاصل ضرب حجم كمية معينة من غاز× ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة يساوي كمية ثابتة».

أي أن ض×ح= كمية ثابتة.

وفي الجدول أدناه فإن قيم الضغط والحجم لكمية معينة من غاز وجدت بالتجربة عند ثبوت درجة الحرارة وقد رسم على أساسها الخط البياني الذي يبين علاقة الضغط بالحجم عند ثبوت درجة الحرارة، كما في الشكل (23)

ح	12	6	4	3	2	1
ض	1	2	3	4	6	12

وكما ذكرنا فإن كتلة الغاز تبقى خلال العملية الأيزوثيرمية مقداراً ثابتاً، ولنفرض أنه يساوي (ك) فإذا كان حجم الغاز فيا لحالة الأولى (ح1) فإن كثافة الغاز تساوي ث 1 وعليه فإن:

$$ث_1 = \frac{ك}{ح_1} \quad (أ).$$

وعندما يتغير الحجم إلى ح2 فإن كثافة تصبح (ث2) وعليه فإن:

$$ث_2 = \frac{ك}{ح_1} \quad (ب)$$

ومن العلاقتين (أ) و (ب) بقسمتهما نجد:

$$\frac{ث_1}{ث_2} = \frac{ح_2}{ح_1}$$

لكن:

$$\frac{ح_2}{ح_1} = \frac{ض_1}{ض_2}$$

شكل (23)

$\frac{ح_2}{ح_1} = \frac{ض_1}{ض_2}$ من قانون بويل – ماريوت.

وعليه فإن:

$\frac{ث_1}{ث_2} = \frac{ض_2}{ض_1}$

ومن المعادلة السابقة نستنتج أن كثافة الغاز تتناسب طردياً مع الضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة الحرارة.

تعريف الغاز المثالي

نعني بالغاز المثالي: الغاز الذي يبقى على حالته الغازية عند اية درجة حرارة، كما انه عند أي ضغط يخضع لقانون بويل- ماريوت، أي ان حجمه يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.

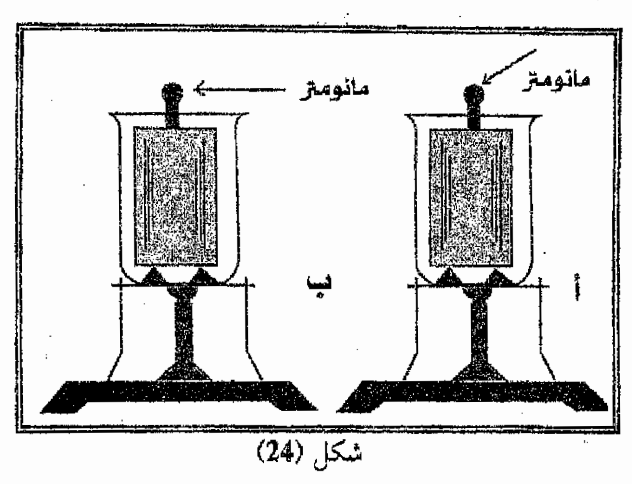
إن الغالبية العظمى من الغازات المعروفة مثل الأوكسجين، النتروجين، الهيدروجين والهليوم تعتبر غازات مثالية.

العملية الأيزوكورية – قانون شارل:

في هذه العملية كما ذكرنا والتي تجري على الغاز يبقى الحجم ثابتاً بينما يتغير الضغط ودرجة الحرارة.

ففي الشكل (51) جهاز لإجراء عملية أيزوستازية محكم الإغلاق ويتكون من أسطوانة معدنية تحتوي على غاز وفي الأسطوانة مقياس لضغط الغاز- مانوميتر (ن)، توضع هذه الأسطوانة في إناء، ويحتاج في هذه العملية إلى إناء وحامل ومسخن (مصباح بنزن) وإلى جليد وماء ولما كان تمدد أو تقلص المواد الصلبة أقل من تمدد أو تقلص الغاز فهو يمكن إهماله بالنسبة لحجم الغاز داخل الأسطوانة.

فإذا أحطنا الأسطوانة المعدنية الحاوية على الغاز في بداية القياس بالثلج، لاحظ الشكل (24) فإن درجة حرارة الغاز تساوي (صفر مئوي) وعند هذه الدرجة نقيس ضغطه وليكن (ض).



شكل (24)

أي عندما تكون:

درجة الحرارة (د)= صفر مئوي، ض=ض، وبعد ذلك نبدل الجليد بالماء ونبدأ بالتسخين، ونقيس ضغط الغاز بواسطة جهاز المانوميتر (ن) في كل مرة نقيس فيها درجة الحرارة فعند درجة الحرارة ($د_1$) ض=$ض_1$.

وعند درجة الحرارة ($د_2$) ض=$ض_1$ وهكذا.

لقد وجد بواسطة هذه التجربة أن التغير في ضغط الغاز (Δض) يتناسب طردياً مع ضغطه الابتدائي (ض) ومع التغير في درجة الحرارة (Δد).

أي أن: Δ ض ∞ ضΔ د $\therefore$ Δ ض = ثابت × ض × Δ د

Δ ض = $م_{ض}$ ض Δ د

حيث أن المقدار الثابت يسمى معامل الضغط الحراري ونرمز له بالرمز (م ض)، حيث أن (م ض) هو معامل التناسب ويدعى بمعامل الضغط الحراري ومن المعادلة السابقة نجد أن قيمته هي:

$$م_ض = \frac{\Delta ض}{ض_\Delta د}$$

ومن العلاقة الأخيرة نجد ان وحدة قياس ($م_ض$) هي ($درجة^{-1}$) لكن:

Δ ض= (ض-ض.)، Δ د= (د-د.)

وبتعويض هذه القيم في المعادلة السابقة نجد ان:

ض- ض.= $م_ض$ ض. د.

أو أن: ض=ض. (1 + $م_ض$ د).

ولقد وجد العالم الفرنسي شارل (1746-1823) أن معامل الضغط الحراري ($م_ض$) هو مقدار واحد في جميع الغازات وهو يساوي $\frac{1}{273}$ كما وجد فيما بعد أن هذا القانون الذي يعرف بقانون شارل ينطبق على الغازات المثالية ذات الكثافة القليلة إذ كلما زادت كثافة الغاز المثالي كلما زاد اختلاف مقدار (م ض) عن $\frac{1}{273}$

وعلى هذا الأساس فإن الغازات المثالية التي تكون كثافتها قليلة وأن تغير درجة حرارتها ليس كبيراً هي التي تخضع لقانون شارل وبناء على مامر أعلاه فإن الصيغة الرياضية لقانون شارل تكون كالتالي:

$$ض=ض (1+ \frac{1}{273} د)$$

الصفر المطلق

في الفقرات السابقة ذكرنا أن درجة الحرارة هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية، لحركة جزيئات الغاز الانتقالية وعلى هذا الأساس فإن انخفاض درجة الحرارة يعني ان الطاقة الحركية لحركة الجزيئات الانتقالية تقل بدورها أيضاً ومنه نستنتج أن الغاز يمكن تبريده إلى حد ان جزيئاته تتوقف عن الحركة الانتقالية وعلى هذا الأساس يجب ان تكون هناك حدود لانخفاض درجة الحرارة والتي تتوافق مع عدم وجود الحركة الانتقالية للجزيئات.

إن درجة الحرارة التي تتوقف عندها الحركة الانتقالية لجزيئات الغاز تسمى بالصفر المطلق، وعليه فإنه لا يمكن أن توجد في الطبيعة درجة حرارة أقل من درجة الصفر المطلق.

وطالما كان الغاز المثالي يحتفظ الغازية في جميع درجات الحرارة فإن المعادلة ض=ض (1+ $\frac{1}{273}$ د) يجب أن تنطبق أيضاً على درجة الصفر المطلق، والتي يكون عندها ضغط الغاز يساوي صفراً.

وعليه فإن:

ض = 0

وبتعويض قيمة ض من صيغة قانون شارل نجد أن:

0 = ض0 (1 + $\frac{1}{273}$ د)

لكن ض 0 ≠ 0

فإن 1+ $\frac{1}{273}$ د= 0

من العلاقة الأخيرة، نجد أن:

د= -273°م.

أي أن درجة الصفر المطلق تساوي (−273°م) فعند هذه الدرجة تتوقف جزيئات الغاز المثالي عن الحركة الانتقالية، وقد وجد العالم الإنجليزي كلفن، أن درجات الصفر المطلق لا تخص الحركة الجزيئية في الغازات فقط، وإنما تخص الحركة الميكانيكية الانتقالية لجزئيات جميع المواد.

لقد جرى التوصل في المختبرات إلى درجة قريبة جداً من درجة الصفر المطلق بحيث أن الدرجة التي تم التوصل إليها، لا تزيد إلا بمقدار 0.0044°م عن (−273°م).

قياس درجة الحرارة- التدريج المئوي والتدريج المطلق

لقد مر بك في دراستك، انه لأجل قياس درجة الحرارة، يستعمل بشكل واسع الترمومتر الزئبقي، الذي يعمل على أساس التمدد المنتظم للزئبق عند تغير درجة الحرارة، في حدود واسعة، فقد وجد أن درجة تجمد الزئبق تبلغ (−39°م) وأن درجة غليانه تبلغ (357°م).

وعند تدريج الترمومتر المئوي، وفقاً للقياس العالمي، اتخذت درجة حرارة انصهار الجليد، كنقطة لبداية القياس، كما اتخذت درجة حرارة غليان الماء عند الضغط الجوي الاعتيادي (760 ملم/ زئبق) كنقطة ثانية للقياس ثم قسمت المسافة بين هاتين النقطتين إلى 100 قسم، دعي كل قسم منها (بالدرجة المئوية) وهكذا تكون درجة انصهار الجليد هي درجة الصفر المئوي، بينما تكون درجة غليان الماء هي 100 درجة مئوية، وقد سمي هذا التدريج بالتدريج المئوي.

وكان العالم البريطاني كلفن قد اقترح تدريجاً آخر لقياس درجة الحرارة، دعي بالتدريج المطلق، فطالما أن الصفر المطلق يتوافق مع أقل درجة حرارة ممكنة يمتلكها الجسم (−273°م) فمن المناسب أن تؤخذ هذه الدرجة كنقطة بداية لقياس درجة الحرارة، بحيث يبقى طول التدريج الواحد، كما هو عليه في التدريج المئوي (الدرجة المئوية).

ووفق هذا الإقتراح تكون درجة انصهار الجليد مساوية إلى (0+273) = 273° (مطلقة).

وان درجة غليان الماء مساوية إلى (100+273)= 373° (مطلقة) وبشكل عام إذا كانت درجة حرارة الجسم بالتدريج المئوي تساوي (د) فإن درجة حرارته بالتدريج المطلق تساوي (د م) وأن العلاقة بين التدريجين هي كالتالي:

التدريج المطلق (د م) = د° + (273°)م

قانون الغازات العام:

لنأخذ كمية معينة من غاز مثالي،ولنفرض في الحالة رقم (1) والتي تكون فيها درجة الحرارة= $د_1$ الضغط=$ض_1$، الحجم= $ح_1$ وعندما تكون درجة الحرارة $د_2$ الضغط= $ض_2$، الحجم=$ح_2$

فإذا فرضنا أيضاً أن انتقال كمية الغاز المثالي هذه من الحالة رقم (1) إلى الحالة رقم (2) يتم على مرحلتين وفي المرحلة الأولى تجري عملية تحول الغاز بدون تغير الضغط (عملية إيزوبارية) إلى حالة مؤقتة (م) حيث تكون درجة الحرارة = $د_2$ والضغط = $ض_2$ (كمية ثابتة)، والحجم= $ح_م$، وفي هذه الحالة المؤقتة تتحقق بالمعادلة التالية:

$$\frac{ح_1}{ح_م} \quad \frac{د_1}{د_2} \quad (أ)$$

أي أن الحجم يتناسب طردياً مع درجة الحرارة عند ثبوت الضغط ويدعى هذا القانون جاي لوساك.

وفي المرحلة الثانية، يجري التحول بدون تغير درجة الحرارة (عملية أيزوثيرمية) وفيها تكون درجة الحرارة= $د_2$ (كمية ثابتة)، الضغط = $ص_2$، الحجم=$ح_2$، وبموجب قانون بويل- ماريوت فإن:

$\text{ح}_{م} . \text{ض}_{1} = \text{ح}_{2}\ \text{ض}_{2}$ (ب).

ومن المعادلة (أ) نجد أن $\text{ح}_{م} = \dfrac{\text{ح}_{1} . \text{د}_{1}}{\text{د}_{1}}$

وبتعويض قيمة ($\text{ح}_{م}$) التي أوجدناها من المعادلة (أ) في المعادلة (ب) نجد أن:

$$\dfrac{\text{ح}_{1} . \text{د}_{1}}{\text{د}_{1}}$$

ومنه نجد ان:

$$\dfrac{\text{ح}_{1} . \text{ض}_{1}}{\text{د}_{1}} \qquad \dfrac{\text{ح}_{2} . \text{ض}_{2}}{\text{د}_{2}}$$

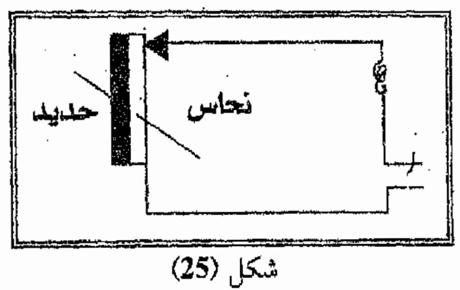
إن المعادلة السابقة تسمى بالمعادلة العامة للغاز، وتكون درجة الحرارة فيها بالمقياس المطلق.

أهمية ظاهرة تمدد المواد بالتسخين في الطبيعة والتكنولوجيا

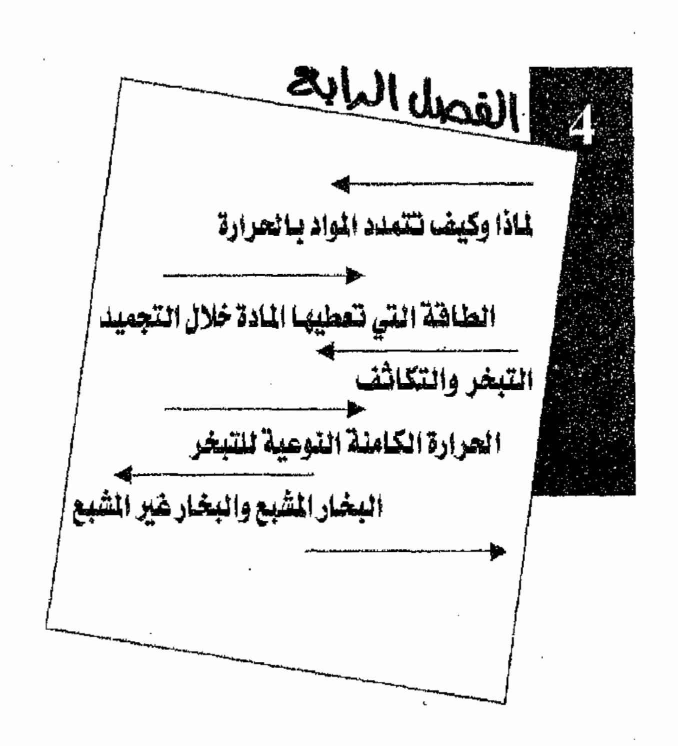
في الطبيعة نجد أن عدم التسخين المتساوي للمياه يسبب اختلاف كثافتها من مكان إلى آخر والذي بدوره يكون أحد الأسباب في جريان مياه البحار والمحيطات كما أن تذبذبات درجة الحرارة على مدى اليوم أو السنة، يؤدي إلى تمدد الصخور والتربة كما يؤدي إلى تقلصها الأمر الذي يسبب أحداث تشققات فيها وأحياناً يؤدي إلى تحطيم الكتل الصخرية.

وفي التكنولوجيا يحظى تمدد الأجسام بزيادة درجة الحرارة أو تقلصها عند انخفاضها بأهمية كبيرة، فعند بناء الجسور أو مد خطوط السكك الحديدية يستلزم حساب مقدار الزيادة أو النقصان المحتمل في أطوالها عند تغير درجة الحرارة على مدى اليوم أو السنة.

وفي صناعة خيوط مصابيح الإضاءة الكهربائية الذي يسخن أثناء الإضاءة إلى درجات حرارة عالية جداً فإن جزءه المار خلال الزجاج يصنع من مادة يكون تمددها مماثلاً للتمدد الحجمي للزجاج، كذلك يستعمل الشريط المعدني المزدوج في الدائرة الكهربائية للثلاجة أو السيارة لتنظيم درجة حرارتها (ثرموستات) فهذا الشريط يكون عادة جزءاً من الدائرة الكهربائية بحيث يعمل على قطع الدائرة الكهربائية للجهاز عند زيادة درجة الحرارة عند حد معين كما في الشكل (25)، إذ أن زيادة درجة الحرارة، يؤدي إلى انحناء الشريط المزدوج فيقطع الدائرة الكهربائية، وعندما تنخفض درجة الحرارة يعود الشريط إلى حالته الأولى فينفصل التيار الكهربائي.



شكل (25)


4
الفصل الرابع
لماذا وكيف تتمدد المواد بالحرارة
الطاقة التي تعطيها المادة خلال التجميد
التبخر والتكاثف
الحرارة الكامنة النوعية للتبخر
البخار المشبع والبخار غير المشبع

الفصل الرابع

لماذا وكيف تتمدد المواد بالحرارة؟

تغير حالة المادة

عرفت من ما سبق أن المادة يمكن أن تكون في حالة الصلابة أو السيولة 2أو الغازية، اعتماداً على كيفية انتظام وحركة جزيئاتها فالجليد يمكن تحويله بالتسخين إلى ماء، والماء يمكن تحويله بالتسخين أيضاً إلى بخار.

وفي الطبيعة يجري تغير في حالات المادة أيضاً، ولكن بمقياس أكبر، يشمل مساحات واسعة جداً، فنتيجة لتبخر مياه المحيطات والبحار والبحيرات وتصاعده في الغلاف الغازي للأرض تتكون السحب، وفي ظروف معينة يسقط منها الأمطار، فتتكون الأنهار والبحيرات التي تتجمد في مناطق كثيرة من العالم بسبب فقدان كمية كبيرة من حرارتها أيام الشتاء.

أما في التكنولوجيا، فإن تحول المادة من حالة إلى أخرى يستغل على نطاق واسع في التطبيق العملي، فبخار الماء الذي يمكن الحصول عليه من تسخين الماء، يمكن استغلاله في تحريك القطارات والبواخر وتوربينات المحطات الكهربائية، كما أن غاز الأمونيا الذي يمكن اسالته في درجة الحرارة الاعتيادية باستخدام الضغط، يستفاد منه على نطاق واسع في صناعة الثلاجات وأجهزة التبريد الأخرى، كذلك يستفاد من تحول المواد الصلبة من حالة إلى أخرى في صناعة السبائك المعدنية المختلفة كالفولاذ.

إن المسافات بين جزيئات الغاز، كما ذكرنا في ظروف الضغط الجوي الاعتيادي، اكبر بكثير من قطر الجزيء نفسه، ولذلك تكون قوى الجذب بين جزيئات الغاز في مثل

هـذه الظـروف ضـعيفة، وأن هـذه الجزيـئات تمتلك متوسط جزيئات الغاز نفسه، لذلك يستطيع الغاز أن يتمدد في جميع الجهات عند رفع الضغط عنه.

أمـا الأجسـام السـائلة والصلبة، التي كثافتها أكبر بعدة مرات من كثافة الغاز، لأن جزيـئاتها تكـون قريـبة مـن بعضها البعض، فإن متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها هذه الجزيـئات، غـير كاف لإنجاز الشغل اللازم للتغلب على قوى التجاذب فيما بينها، لذلك فإن جزيئات المواد السائلة والصلبة، لا يمكنها أن تبتعد عن بعضها البعض.

وبالإضافة إلى ذلك فإن جزيئات المادة الصلبة تترتب في انتظام معين، إذا حاولنا أن نغـيره فإنـنا لمحتاج إلى بذل شغل للتغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات، مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الداخلية للمادة.

مـن هـذا نستنتج أنه عند تحويل جسم من حالة الصلابة إلى حالة السيولة ومن ثم إلى الحالـة الغازيـة، فـإن الطاقـة الداخلية لذلك الجسم يجب أن تزداد حتى ولو لم ترتفع درجـة حـرارته، كذلـك عند تحويل المادة من الحالة الغازية إلى حالة السيولة ثم إلى حالة الصلابة، فإن الجسم يعطي كمية معينة من طاقته الداخلية إلى الوسط الذي يحيطه ونتيجة لذلك فإن طاقة الجسم الداخلية تقل.

انصهار وتجمد المواد الصلبة البلورية التركيب وغير البلورية التركيب

لقد عرفنا ان المادة يمكن تحويلها بالتسخين من حالة الصلابة إلى حالة السيولة ومن ثم إلى الحالة الغازية كما يمكن تحويلها بالتبريد من الحالة الغازية إلى حالة السيولة ومن ثم إلى حالة الصلابة.

إن تحـول المـادة مـن حالـة الصـلابة إلى حالـة السيولة يسمى "الإنصـهار" وأن درجة الحـرارة الـتي عندها تنصهر المادة، تسمى درجة حرارة الانصهار لتلك المادة فالجليد مثلاً

عند انصهاره يتحول إلى ماء في درجة الصفر المئوي، وعلى هذا الأساس فإن درجة انصهار الجليد هي الصفر المئوي.

كذلك فإن تحويل المادة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة يسمى التجمد وان درجة الحرارة التي تبدأ عندها المادة بالتجمد تسمى درجة حرارة الإنجماد فالماء يبدأ بالتجمد عندما يكون في درجة حرارة الصفر المئوي، لذلك نقول أن درجة حرارة تجمده واحدة، وهي الصفر المئوي.

لقد عرفت أن المادة الصلبة، إما ان تكون بلورية التركيب أو أن تكون غير بلورية التركيب، فكيف يسلك كل من هذين الصنفين من المادة الصلبة خلال عملية الانصهار التجمد؟

أ. انصهار وتجمد المواد البلورية التركيب:

لكل مادة بلورية التركيب درجة حرارة انصهار معينة فالجليد كما رأيت له درجة حرارة انصهار منخفضة هي الصفر المئوي وأن درجة حرارة انصهار النفثالين 80°م، لكن درجة حرارة انصهار الحديد النقي تبلغ 1535 °م.

كذلك فإن لمثل هذه المواد (البلورية التركيب) درجة حرارة تجمد، وأن درجة حرارة تجمد الماء هي الصفر المئوي أيضاً، كما أن درجة حرارة تجمد منصهر النفثالين هي 80°م وكذلك بالنسبة للحديد النقي فإن درجة حرارة تجمد منصهره تبلغ 1535°م لاحظ الجدول التالي وعلى هذا الأساس فإن درجة حرارة تجمد المواد البلورية المنصهره تساوي درجة حرارة انصهارها.

جدول يوضح درجة حرارة انصهار وتجمد بعض المواد

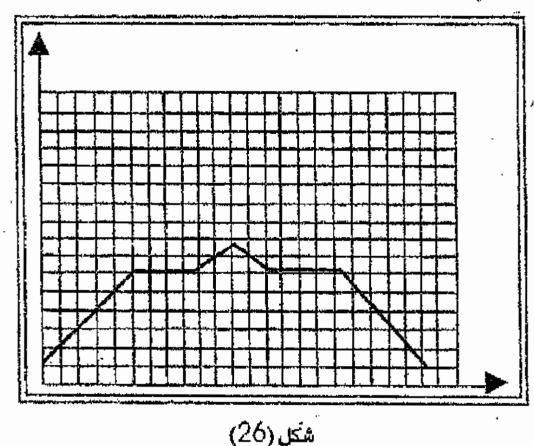
(درجة مئوية)

المادة	°م مئوية	المادة	°م مئوية	المادة	°م مئوية
الهيدروجين	259-	الصوديوم	98	زهر الحديد	1200-1100
الأوكسجين	219-	القصدير	232	الفولاذ	1500 -1300
النتروجين	210-	الرصاص	327	الحديد النقي	1535
الكحول	117-	الكهرب	280-350	البلاتين	1770
الزئبق	39-	الزنك	420	التنغستين	3380
الجليد	صفر	الألومنيوم	660	أوسميوم	2700
النسيزيوم	29	الذهب	1063		
البوتاسيوم	63	النحاس	1083		

فإذا سخنا مادة بلورية التركيب مثل النفثالين فإنه يمكن ملاحظة أن درجة حرارتها تبدأ بالارتفاع حتى لحظة بداية انصهارها، فخلال كل وقت عملية الإنصهار تبقى درجة النفثالين ثابتة دون تغيير حتى انصهار آخر جزء من المادة وبعدها تبدأ درجة حرارة منصهر النفثالين بالارتفاع مرة أخرى.

ففي الشكل (26) رسم الخط البياني لنتائج تجربة تسخين النفثالين وهي مادة بلورية التركيب كما مر معك، وكانت درجة حرارة النفثالين في بداية التجربة 35م، ويمثل الخط البياني تغير درجة حرارة النفثالين بالتسخين بالنسبة للزمن فكان المحور العمودي (محور الصادات) يمثل درجة الحرارة بينما كان المحور (محور السينات) يمثل الزمن بالثواني، فعندما نستمر بالتسخين، ترتفع درجة حرارة النفثالين كما ذكرنا، حتى تبلغ 80 °م (لاحظ الجزء أب من الخط البياني)وعند هذه الدرجة يبدأ النفثالين بالانصهار وطيلة وقت انصهار جميع أجزاء النفثالين، تبقى درجة حرارته ثابتة دون تغير (80°م) لاحظ

الجزء (ب ج) من الخط البياني، وبعدها تبدأ درجة حرارة النفثالين المنصهر بالارتفاع، وحين بلوغها 90°م (لاحظ الجزء (ج د) من الخط البياني) أوقف التسخين، فبدأت درجة حرارته بالانخفاض، وحتى بلوغها 80°م (لاحظ الجزء (د هـ) من الخط البياني) بدأ منصهر النفثالين بالتجمد وبقيت درجة حرارته 80°م دون تغير (لاحظ الجزء (هـ و) من الخط البياني) إلى أن تجمد جميع أجزاء النفثالين، وعندما بدأت درجة حرارته بالانخفاض مرة أخرى، إلى أن عادت درجة 55°م التي بدأ عندها التسخين (لاحظ الجزء (و ز) من الخط البياني).

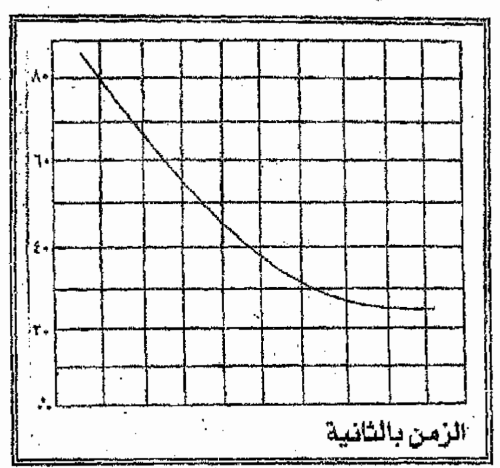


شكل (26)

ب) انصهار وتجمد المواد غير البلورية التركيب:

لقد لاحظت كيف أن المواد البلورية التركيب تمتلك كل واحدة منها درجة انصهار وتجمد واحدة، لكن المواد غير البلورية التركيب كالأسفلت والزجاج والبلاستيك لا تمتلك درجة انصهار أو تجمد معينة، فهي تلين خلال التسخين وتتغير درجة حرارتها باستمرار إلى أن تتحول من حالة الصلابة إلى حالة السيولة، وعندما يبرد منصهر هذه المواد فإن درجة حرارته تنخفض بالتدريج إلى أن يتحول من حالة السيولة إلى حالة

الصلابة فعند ملاحظة الخط البياني لانصهار القطران شكل (27) لا نجد فيه أجزاء أفقية كالتي لاحظناها في الخط البياني لانصهار النفثالين الشكل (26) السابق.



شكل (27)

الحرارة الكامنة النوعية للإنصهار

عند إمعان النظر في الخط البياني – شكل (26) يظهر لنا بوضوح أن درجة حرارة النفثالين خلال عملية الانصهار لا تتغير رغم استمرار التسخين (لاحظ الجزء (ب ج) الأفقي من الخط البياني ولكن حالما يتم تحول النفثالين جميعه من حالة الصلابة إلى حالة السيولة، تبدأ درجة حرارته بالارتفاع فعلى أي شيء تصرف الطاقة التي يحصل عليها النفثالين من المصدر الحراري خلال عملية الانصهار؟

إن الجواب على هذا السؤال واضح تماماً ذلك أن هذه الطاقة تصرف على تهديم بلورات النفثالين الأمر الذي يؤكد قانون حفظ الطاقة وعلى هذا الأساس فإن الطاقة التي تحصل عليها المواد البلورية التركيب خلال عملية الانصهار تصرف على تغيير طاقتها الداخلية خلال تحولها من حالة الصلابة إلى حالة السيولة.

إن مقـدار الطاقة التي تلزم لصهر كتلة 1 كجم من المادة البلورية التركيب وتحويلها إلى سائل في درجة حرارة الانصهار تسمى «الحرارة الكامنة النوعية للانصهار» وعلى هذا الأساس فإن وحدة الحرارة النوعية للإنصهار هي (جول/ كجم أو كيلو سعر/ جم) كما أن مقدارها يختلف من مادة إلى أخرى، لاحظ الجدول التالي:

جدول يبين الحرارة الكامنة النوعية للانصهار

المادة	جول / كجم	كيلو سعر / كجم سعر / كجم
الألومنيوم	3.9×10^5	92
الجليد	3.4×10^5	80
الحديد	2.7×10^5	65
النحاس	1.8×10^5	42
الفولاذ	0.84×10^5	20
القصدير	0.59×10^5	14
الرصاص	0.25×10^5	6

فالحـرارة الكامنة النوعية لانصهار الجليد في الصفر المئوي وتحويله إلى ماء في درجة الصـفر المئوي تساوي كما هو واضح من الجدول السابق 3.90×10^5 جول/ كجم أو ما يعـادل 80 كيـلو سـعر/ كجـم أو 80 سـعر/ جم، وهذا يعني أن تحويل جزء من الجليد كتلته 1 كجم ودرجة حرارته الصفر المئوي إلى ماء في درجة الصفر المئوي يتطلب صرف طاقـة مقدارهـا 3.9×10^5 جـول او 80 كيـلو سـعر، تذهـب إلى زيـادة الطاقة الداخلية للسائل إذ أن طاقة المادة (الداخلية) خلال عملية الإنصهار سوف تزداد كثيراً.

وعـلى هـذا الأسـاس فعـند درجة حرارة الانصهار تكون الطاقة الداخلية لكتلة 1 كجـم مـن المـادة في حالة السيولة أكبر من الطاقة الداخلية لنفس هذه الكتلة من المادة في حالة الصلابة بمقدار الحرارة النوعية لانصهار تلك المادة.

فالطاقة الداخلية لكتلة 1كجم من الماء في درجة حرارة الصفر المئوي أكبر أيضاً من الطاقة الداخلية لنفس هذه الكتلة من الجليد في درجة الصفر المئوي أيضاً.

الطاقة التي تعطيها المادة خلال التجميد

لنرجع إلى الخط البياني لانصهار النفثالين في الشكل (26) ولنمعن النظر في جزئه الذي يمثل درجة حرارة النفثالين بعد إيقاف التسخين.

فخلال التبريد تنخفض درجة حرارة منصهر النفثالين ولكن حالما يبدأ بالتجمد يتوقف انخفاض درجة الحرارة عند (80م°)، رغم استمرار النفثالين بإعطاء طاقته الداخلية إلى الأجسام المرتبطة به لأن درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الأجسام المحيطة به، ويستمر النفثالين على هذه الحالة إلى أن يتجمد جميعه، وعند ذلك تبدأ درجة حرارته بالانخفاض مرة أخرى، فلماذا لم تنخفض درجة حرارة النفثالين خلال عملية التجمد؟

سبق أن علمت أن الجسم عندما يكون في درجة التجمد، فإن طاقته الداخلية في حالة السيولة، أكبر من طاقته الداخلية في حالة التجمد، وعلى هذا الأساس فإن الجسم يعطي الفرق بين طاقته في الحالتين خلال عملية التجمد نتيجة التبريد لذلك فإن متوسط طاقة الجزئ وبالتالي درجة حرارة الجسم تبقى ثابتة دون تغيير طالما لم تنته عملية التجمد، وفي لحظة انتهاء عملية التجمد، تبدأ درجة حرارة الجسم (الذي أصبح صلباً) بالانخفاض لأنه يكون في هذه الحالة قد فقد كل طاقته الفائضة.

لقد أكدت التجارب أنه عند تجمد المواد البلورية التركيب فإنها تعطي بالضبط نفس مقدار الطاقة التي امتصتها خلال عملية انصهارها.

فعند تجمد كتلة 1 كجم من الماء في درجة الصفر المئوي فإنها تعطي الأجسام المحيطة بها طاقة مقدارها 80 كيلو سعر أي ما يعادل 3.9× 10° جول.

وهذا المقدار من الطاقة يساوي نفس المقدار من الطاقة التي امتصتها كتلة 1 كجم من الجليد في درجة حرارة الصفر المئوي، عند تحولها إلى ماء في درجة حرارة الصفر المئوي.

مثال (1)

سبيكة من الفولاذ درجة حرارتها تساوي درجة حرارة انصهارها، أحسب الطاقة الواجب صرفها بالجولات، وبالسعر، لأجل صهر هذه السبيكة في نفس درجة الحرارة إذا علمت أن كتلتها 300 كجم.

الحل

من الجدول السابق نجد أن:

الحرارة النوعية لإنصهار الفولاذ= 0.84×10^{5} جول/كجم.

∴ الطاقة اللازم صرفها = $0.84 \times \frac{\text{جول}}{\text{كجم}} \times 300$ كجم

الطاقة اللازم صرفها = 2.5×10^{5} جولاً.

كذلك نجد من نفس الجدول أن:

الحرارة النوعية لانصهار الفولاذ= 20 كيلو سعر/ كجم.

∴ الطاقة الواجب صرفها (ح)= $20 \frac{\text{كيلو سعر}}{\text{كجم}} \times 300$ كجم.

الطاقة الواجب صرفها (ح)= 6000 كيلو سعر

مثال (1)

كم هي كمية الطاقة (بالجولات) الواجب صرفها لأجل صهر كتلة من الألمنيوم مقدارها 100 كجم عندما تكون في درة حرارة 20°م.

✍**الحـــل**

أن الألمـنيوم يـبدأ بالانصهار عندما تكون حرارته 660°م وعلى هذا الأساس يجب تسخين 100 كجم من الألمنيوم بحيث ترتفع درجة حرارته من 20°م إلى 660°م.

ح = ح ن = ك (د-د)

ومن الجدول السابق ح ن للألمنيوم =880 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم. درجة°}}$

∴ ح1 = 880 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم. درجة°}}$ × 100 كجم (660 – 20) درجة.

ح1 = 880 × 100 × 640 جول

ح1 = 5632×10^{4} جولاً

الحرارة اللازمة لصهر الألمنيوم في 660°م= ح 2

ح2=ح ص × ك، ح ص= الحرارة الكامنة النوعية للإنصهار.

= 3.9×10^{5} جول/ كجم

لاحظ الجدول السابق:

ح2= 3.9×10^{4} × 100 كجم = 3.9×10^{7} جول

كمية الحرارة الواجب صرفها= ح=ح1+ح2

ح = $5632 \times 10^{4} + 3.9 \times 10^{7}$

= $5.632 \times 10^{7} + 3.9\ 10^{7}$ جولاً = 9.532×10^{7} جولاً

التبخر والتكاثف

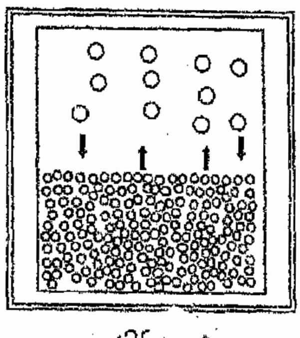
إن درجة حرارة الأجسام في حالاتها الثلاث الصلبة والسائلة والغازية- مرتبطة مع سـرعة حركة جزيئات المادة فكلما كان متوسط سرعة حركة الجزيئات كبيراً كانت درجة حرارة المادة كبيرة أيضاً.

غير انه عند درجة حرارة معينة توجد في السائل جزيئات منفردة تتحرك بسرعة أكبر من متوسط سرعة الجزيئات الأخرى، كما توجد أيضاً جزيئات تمتلك سرعة أبطأ من ذلك المتوسط فإذا كانت سرعة جزئية من جزيئات سطح السائل كبيرة لدرجة كافية، فإن طاقتها الحركية سوف تمكنها من التغلب على قوى التجاذب بينها وبين جزيئات السطح المجاورة لها فتنفصل طائرة على السائل، والجزيئات الطائرة من سطح السائل التي كانت تمتلك سرعة أكبر من متوسط سرعة جزيئات السائل الأخرى تكون على سطح السائل البخار، وإن عملية تحول جزيئات السائل إلى بخار تسمى "بالتبخر"

إن مثل هذه الجزيئات التي تمتلك سرعة أكبر من متوسط سرعة جزيئات السائل الأخرى، موجود في جميع درجات الحرارة، لذلك فإن التبخر يجري في جميع درجات الحرارة، وهذا يفسر سبب تبخر مياه البرك والمستنقعات في جميع أوقات السنة.

لكن التبخر أيام الصيف وبخاصة في منتصف النهار يكون أسرع مما يجري عليه في بقية الأوقات، فكلما كانت درجة حرارة السائل مرتفعة، فإن أعداداً كبيرة من الجزيئات سوف تمتلك طاقة حركية تمكنها من التغلب على قوى التجاذب بينها وبين الجزيئات المجاورة لها، فتفلت من السائل طائرة من سطحه لذلك تجري عملية التبخر بسرعة أكبر.

وفي نفس الوقت الذي تتحول فيه بعض جزيئات السائل إلى بخار تجري عملية عكسية، فالحركة العشوائية للجزيئات المتطايرة فوق سطح السائل قد تؤدي ببعض هذه الجزيئات للعودة ثانية إلى سطح السائل كما في الشكل (28) فإذا جرت عملية التبخر في قنينة مغلقة فإن عدد الجزيئات التي تغادر سطح السائل يساوي عدد الجزيئات التي تعود ثانية إلى السطح لذلك فإن كمية السائل في المحلات المغلقة تبقى ثابتة دون تغير، رغم أن جزيئات السائل تستمر في حركتها.



شكل (2)

ولكـن عـندما يجري التبخر في الأمـاكن المفتوحة، فإن كمية السائل نتيجة التبخر تتناقص بالـتدريج، لأن عدداً كبيراً من الجزيئات يترك سطح السائل إلى الهواء ولا يعود ثانيـة إلى السـائل لذلـك يـزداد التبخر عند زيادة سرعة الريح إذ أن الريح السريعة تحول دون عودة الجزيئات المتبخرة إلى السائل مرة أخرى.

امتصاص الطاقة خلال عملية التبخر

إن الجزيـئات الـتي تفـلت من سطح السائل تتغلب على قوى التجاذب بينها وبين الجزيئات المجاورة.. وهذا يعني كما ذكرنا انها تنجز شغلاً ضد قوى جذب تلك الجزيئات وإضافة إلى ذلك فإن البخار الذي يتكون من الجزيئات المتطايرة تنجز شغلاً أيضاً.

أن تكون البخار فوق سطح السائل يعني فقدان السائل للجزيئات التي تمتلك سرعة كـبيرة، ممـا يؤدي إلى نقصـان متوسـط الطاقة الحركية لجزيئات السائل الباقية لذلك فإن الطاقـة الداخـلية للسائل المتبخر في حالة عدم وجود مصدر خاص للطاقة، يزود السائل بالطاقة اللازمة لرفع درجة حرارته.

إن إنخفـاض درجـة حـرارة السائل المتبخر يمكن ملاحظته خلال التجربة فإذا بللنا أيديـنا بـالأثير، أحسسـنا بـبرودة اليديـن، كذلـك إذا خرجنا من الماء في يوم حار شعرنا

بالبرودة فالماء عندما يتبخر من سطح جسمنا يأخذ قسماً من حرارة الجسم، ولكن عندما يتبخر الماء الموجود في قدح، فلن نلحظ انخفاض درجة حرارته، لأن الماء سوف يعوض الحرارة التي يفقدها، من الحرارة التي سوف يأخذها من الهواء المحيط به، لذلك تستمر عملية التبخر، طالما بقي القدح مكشوفاً في الهواء.

إن هذا يؤكد ضرورة وجود مصدر حراري لكي تستمر عملية التبخر فلأجل تبخر كتلة 1 كجم من الماء عند درجة حرارة 35م، تحتاج إلى 576 كيلو سعر من الحرارة كما سوف تلاحظ ذلك لاحقاً أما تبخر كتلة 1 كجم من الأثير عند نفس درجة الحرارة هذه (35م) فيتطلب كمية أقل من الحرارة (85 كيلو سعر) فلماذا نحتاج إلى تبخر 1 كجم من الماء طاقة حرارية أكبر؟

إن الجواب على هذا السؤال واضح وخاصة إذا تذكرنا أن قوة التماسك بين جزئيات الماء أكبر من قوة التماسك بين جزيئات الأثير، الأمر الذي يجعل جزيئات الماء تحتاج إلى طاقة أكبر لأجل ان تتغلب على قوة التجاذب بينها وبين الجزئيات المجاورة لها، لذلك تحتاج إلى طاقة حرارية لتبخر الماء أكبر من الطاقة الحرارية التي تحتاجها لتبخر الأثير.

التكاثف

تسمى عملية تحول بخار المادة إلى سائل «بالتكاثف»، ولما كانت الطاقة الداخلية التي تمتلكها المادة في الحالة الغازية أكبر من الطاقة الداخلية في حالة السيولة، فإن تكاثف بخار المادة يصاحبه إعطاء طاقة حرارية من المادة المتكاثفة إلى الوسط.

فعند هذه الدرجة أو تلك من درجات الحرارة التي يتبخر عندها السائل، يمتص كمية من الحرارة تزيد الطاقة الداخلية للمادة لكي تتحول إلى الحالة الغازية (بخار) فالكيلو جرام الواحد من الماء في درجة حرارة 35مْ كما رأيت يحتاج إلى 576 كيلو سعر من الطاقة الحرارية لتبخره ولكنه عندما يتكاثف مرة أخرة يعطي 576 كيلو سعر إلى

الوسط ويتحول إلى ماء في درجة حرارة 35م، وهكذا يقال أن حرارة التكاثف تساوي حرارة التبخر.

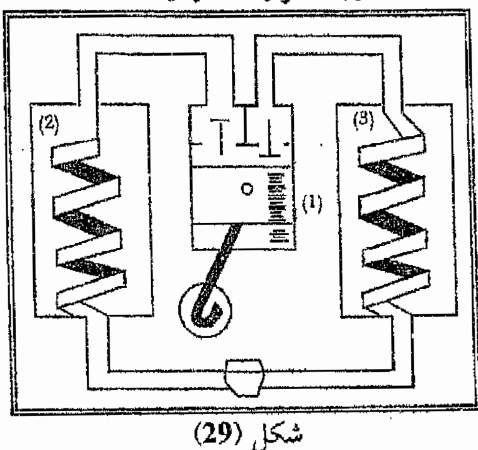
عمل الثلاجة

إن تحول المادة من حالة إلى أخرى يستغل على نطاق واسع في التطبيق العملي، وأن ظاهرة التبخر والتكاثف تستغل في صناعة الثلاجات وأجهزة التبريد الأخرى، والثلاجة تتكون أساساً من ثلاثة أقسام هي:

1- المكبس.   2- المكثف.   3- المبخر

والجزءأن الأخيران 2،3 يتكون كل منهما من أنبوب حلزوني بحيث يمر المبخر في المجمد (Phrazer) بينما يقع المكثف خارج مخزن الثلاجة كما في الشكل (29).

يستعمل في الثلاجة غاز الأمونيا أو غيره من الغازات التي يسهل تحويلها إلى حالة السيولة بواسطة الضغط عند درجة الحرارة الاعتيادية.



شكل (29)

فعند ضغط غاز الأمونيا بواسطة المكبس (1) يتحول من الحالة الغازية إلى حالة السيولة، وفي نفس الوقت يحدث تخلخل في الإنبوب الحلزوني للمبخر، وعبر الصمام

المنتظم (م) يتجه سائل الأمونيا إلى المبخر، فيمر عبر الأنبوب الحلزونين وهنا يتبخر سائل الأمونيا بسرعة، فيصاحب هذا التبخر امتصاص للحرارة بسرعة من الهواء، لذلك يمتص الهـواء البـارد داخل الثلاجة حرارة المواد الموجودة في مخزن الثلاجة، فتبرد ويجري التبريد عـلى أشده في المجمد (Pharazer) بعد ذلك يعود غاز الأمونيا إلى المكبس حيث يتحول إلى سـائـل مـرة أخـرى ويمـر عـبر الصـمـام المنتظـم (م) إلى المبخـر (2) وهكذا يستمر عمل الثلاجة.

الغليان

عـند تسـخين المـاء في إناء مفتوح كما في الشكل (30) يجري التبخر أولاً في سطح المـاء، فيـتكون ضـباب داخـل الـدورق نتيجة تكاثف البخار المتكون بسبب اختلاطه مع الهواء البارد الموجود داخل الدورق.

وباستمرار عملية التسخين ترتفع درجة حرارة الماء ونلاحظ ظهور فقاعات صغيرة عديـدة داخـل المـاء وهذه الفقاعات يزداد حجمها بالتدريج، وهي فقاعات هوائية ناشئة من تمدد الهواء المذاب في الماء ولكنها لا تحوي هواءاً فقط وإنما يوجد فيها أيضاً بخار الماء، بسبب التبخر الذي يجري داخل السائل.



وكـلما استمر التسخين ازداد حجم الفقاعات كما يزداد عددها.

وبازديـاد حجم الفقاعة تزداد القوة الصعودية لها، فتصعد إلى سطح الماء حيث تـنفجر، كمـا في الشكل (30) ويصاحب هذه الانفجارات صوت فوران الماء.

وباسـتمرار التسـخين تنشأ داخـل السـائل فقاعـات صـغيرة أخرى تكبر بدورها

وتصعد إلى سطح السائل حيث تنفجر هي الأخرى، لكن الفقاعات في هذه الحالة تحتوي بخار الماء مع قليل من الهواء، وهي تصعد من نقاط مختلفة داخل السائل بسرعة واحدة بعد الأخرى، ويزداد حجمها عند اقترابها من السطح حيث تنفجر على السطح ويتصاعد بخار الماء في الجو.

فالغليان هو عملية تبخر السائل التي لا تجري في سطح السائل فحسب، وإنما تجري أيضاً داخل السائل.

إن درجة الحرارة التي يغلي عندها السائل، تسمى درجة غليان ذلك السائل، وإن لكل سائل درجة غليان معينة لاحظ الجدول التالي:

جدول يوضح درجة غليان بعض المواد (م°)

وأن درجة غليان المادة ثابتة لا تتغير أثناء عملية الغليان

المادة	د° مئوية	المادة	د° مئوية	المادة	د° مئوية
الهيدروجين	253-	غاز الأمونيا	33-	الكحول	78
الزئبق	357	النحاس	2580	الأوكسجين	183-
الأثير	35	الماء	100	الرصاص	1750
الحديد	3050				

في الجدول السابق نلاحظ ان المادة التي هي في الظروف الاعتيادية غاز وحولت بالتبريد والضغط إلى سائل مثل الهيدروجين المسال والأوكسجين المسال، تغلي في درجة حرارة واطئة جداً، فالهيدروجين المسال يغلي في درجة -253°م والأوكسجين المسال يغلي في درجة -183°م، بينما نلاحظ أن المواد التي هي في الظروف الاعتيادية مواد صلبة منصهرة، تغلي في درجات حرارة عالية جداً فالحديد يغلي في درجة حرارة 3050°م كما يلاحظ من الجدول السابق.

الحرارة الكامنة النوعية للتبخر

لأجل إبقاء درجة حرارة السائل المتبخر ثابتة لا بد من إعطاء طاقة حرارية كافية والغليان كما رأيت هو تبخر أيضاً ولكنه لا يجري في سطح السائل فحسب وإنما يجري في داخله أيضاً.. وتتكون خلاله فقاعات بخار وتبقى درجة حرارة السائل ثابتة خلال عملية الغليان.

فلأجل استمرار عملية الغليان لا بد من إعطاء كمية معينة من الطاقة الحرارية، ولكن هذه الطاقة تصرف على زيادة طاقة البخار الذي يتكون خلال عملية الغليان.

إن كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل كتلة 1 كجم من السائل إلى بخار في درجة غليان ذلك السائل تسمى «الحرارة الكامنة النوعية للتبخر» وكنا قد ذكرنا في الفقرة السابقة أن تحويل 1 كجم من الماء عند درجة حرارة 35°م إلى بخار يتطلب صرف 576 كيلو سعر، وعليه فإن الحرارة الكامنة النوعية لتبخر الماء عند هذه الدرجة (35°م) تساوي 576 كيلو سعر/ كجم، وقد أكدت التجارب بأن الحرارة الكامنة النوعية لتكون بخار الماء عند درجة غليانه (100م) تساوي 539 كيلو سعر/ كجم وبعبارة أخرى، فلأجل تحويل كتلة 1 كجم من الماء في درجة (100^5م) إلى بخار في نفس الدرجة (100^5م) يجب أن تصرف 539 كيلو سعر أي ما يعادل 2.3×10^6 جولاً.

إن لكل مادة حرارة كامنة نوعية للتبخر، لاحظ الجدول السابق وأن وحدة الحرارة الكامنة النوعية للتبخر لا تختلف عن وحدة الحرارة الكامنة النوعية للانصهار (كيلو سعر/ جم، جول/ كجم) وهي تشير إلى مقدار الطاقة الواجب إعطاؤها لتحويل 1 كجم من المادة في درجة الغليان إلى غاز في نفس تلك الدرجة وعلى هذا الأساس فإن الطاقة الداخلية لـ (1كجم) من بخار الماء عند درجة 100°م تزيد على الطاقة الداخلية لـ (1كجم) من بخار الكحول في درجة 78^5م تزيد على طاقة (1كجم) من الكحول السائل في نفس هذه الدرجة بمقدار 204 كيلو سعر.

جدول يوضح الحرارة الكامنة النوعية للتبخر

المادة	جول / كجم	كيلو سعر / كجم — سعر / كجم
الماء	3.9×10^{6}	539
سائل الأمونيا	3.9×10^{6}	327
الكحول	3.9×10^{6}	204
الأثير	3.9×10^{6}	85
الزئبق	3.9×10^{6}	70

إن القسم الأكبر من الطاقة المصروفة في تحويل السائل إلى بخار يذهب إلى زيادة الطاقة الداخلية للبخار، إذ أن 539 كيلو سعر التي تصرف لتحويل واحد كجم من الماء في درجة حرارة 100°م إلى بخار في نفس الدرجة.

يذهب 500 كيلو سعر منها إلى زيادة الطاقة الداخلية للبخار، أما الـ(39) كيلو سعر الباقية فتصرف لإنجاز شغل للتغلب على الضغط الخارجي وبشكل رئيسي ضد الضغط الجوي.

إن حجم وحدة الكتل لبخار الماء تحت الضغط الجوي الاعتيادي وفي درجة حرارة 100°م يبلغ تقريباً 1700 مرة أكبر من حجم وحدة كتل الماء عند نفس تلك الظروف، وعلى هذه الصورة فإن الطاقة الداخلية لكتلة 1 كجم من بخار الماء عند درجة 100°م أكبر من الطاقة الداخلية لكتلة 1 كجم من الماء في نفس الدرجة (100°م) بحوالي 500 كيلو سعر أي ما يعادل 2×10^{6} جولاً.

ولكن عند تكاثف البخار وتحوله إلى سائل في نفس الدرجة يعطي كما ذكرنا نفس الطاقة التي امتصها خلال تحوله، وعلى هذا الأساس فعند تحول 1 كجم من بخار الماء في

درجة حرارة 100°م إلى ماء في نفس الدرجة (100°م) فإنه يعطي 539 كيلو سعر إلى الوسط المحيط به، وهذه هي الطاقة المحررة.

مثال (1)

احسب مقدار الطاقة الواجب صرفها لتحويل 2 كجم من الماء في درجة 20°م إلى بخار في درجة حرارة 100°م (بالجولات).

الحل

إن الحرارة الواجب صرفها من أجل تحويل الماء من درجة 20°م إلى 100°م يمكن حسابها من المعادلة الآتية:

ح = ح ن = ك (د − د $_0$)

∴ ح$_1$ = 2 كجم × 4200 $\frac{\text{جول}}{\text{كجم. درجة°}}$ (100 − 20) درجة.

ح$_1$ = 4200 × 160 جولاً

ح$_1$ = 672000 جولاً = 672 × 10^2 جولاً

ح$_2$ = 2.3 × 10^6 = $\frac{\text{جول}}{\text{كجم}}$ × 2 كجم

= 4.2 × 10^6

ح$_2$ = 46000 × 10^2 جولاً

ح = ح$_1$ + ح$_2$ = 46000 × 10^3 + 672 × 10^3

ح = 46672000 جولاً وهي الطاقة الواجب صرفها.

البخار المشبع والبخار غير المشبع

سبق وأن ذكرنا أن سطح الأواني المكشوفة والمعرضة للهواء لا يبقى على حالته بل ينخفض على الدوام، نتيجة عملية التبخر، التي تجري في جميع درجات الحرارة، فالهواء المتحرك (الرياح) يأخذ معه جزيئات السائل المتطايرة من سطح السائل نفسه، نتيجة عملية التبخر، فيقلل من عدد الجزيئات المتطايرة، التي قد تعود مرة أخرى راجعة إلى سطح السائل أثناء عملية التكاثف.

أما إذا كان الإناء الحاوي للسائل مغلقاً، فإن مستوى السائل يبقى دون تغير ومرد ذلك، يعود إلى جزئيات السائل المتطايرة، أثناء عملية التبخر يعود بعضها إلى سطح السائل مرة أخرى، أي أنها تتكاثف كما ذكرنا، وتجري هذه العملية بحيث أن عدد جزيئات السائل التي تترك سطح السائل في عملية التبخر يساوي عدد جزيئات السائل المتكاثفة والتي تعود مرة أخرى إلى السائل نفسه.

ويمكن القول أن عملية التبخر في الأواني المغلقة توازنها عملية التكاثف، الأمر الذي يبقى مستوى سطح السائل في مثل هذه الأواني (المغلقة) دون تغير.

إن مثل هذا التوازن بين عملية التبخر وعملية التكاثف، التي تجري في السائل يدعى بالتوازن الديناميكي، وأن البخار الذي يكون في حالة توازن ديناميكي، يدعى بالبخار المشبع.

أما إذا كانت عملية التبخر تجري، بحيث أن عدد جزيئات السائل التي تترك سطحه نتيجة عملية التبخر، اكبر من عدد الجزيئات التي تعود خلال عملية التكاثف إلى سطح السائل، فإن بخار السائل لا يكون في حالة توازن ديناميكي، ويدعى في مثل هذه الحالة «بالبخار غير المشبع».

إن ضغط وكثافة البخار المشبع يعتمد على نوع المادة المتبخرة، وأن ضغط البخار المشبع يزداد كلما زادت درجة الحرارة- ليس فقط بسبب زيادة متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وإنما بسبب زيادة عدد الجزئيات المتبخرة من السائل أيضاً، أما إذا انخفضت درجة حرارة البخار المشبع، فإن ضغطه يقل بسرعة، وان كثافته نقل أيضاً، فيجري تكاثف جزء منه وعلى هذا الأساس، فإن درجة حرارة البخار المشبع لا تحدد فقط ضغطه وإنما تحدد أيضاً كثافته.

إن تكاثف جزء من بخار الماء المشبع، الموجود في الجو، عند انخفاض درجة حرارته، هو السبب في تكوين الغيوم، فعندما يرتفع الهواء المشبع ببخار الماء، بسبب تيارات الحمل الصاعدة، أو نتيجة تلاقي كتلتين من الهواء أحدهما باردة والأخرى حارة مشبعة ببخار الماء تنخفض درجة حرارة البخار المشبع الموجود في الهواء، مما يؤدي إلى تكاثف قسم منه في أعالي الجو على هيأة غيوم، كذلك أن مثل هذا التكاثف قد يجري قرب سطح الأرض بسبب برودته نتيجة الإشعاع الحراري أو بسبب اختلاط الهواء المشبع ببخار الماء بهواء بارد قرب سطح الأرض، فيتكون الضباب، كما أن الندى يتكون هو الآخر نتيجة تكاثف جزء من بخار الماء المشبع في درجة حرارة معينة على الأغصان وأوراق الأشجار أو على الحشائش والأعشاب نتيجة انخفاض درجة حرارتها بسبب فقدان الحرارة الناشئة بسبب الإشعاع، وخاصة في أيام الصحو.

درجة الحرارة والضغط الحرج للسائل:

عند تسخين سائل في دورق محكم الإغلاق، فمن الممكن أن يجري تسخينه إلى درجة حرارة عالية جداً، قد تصل أعلى بكثير من درجة غليانه.

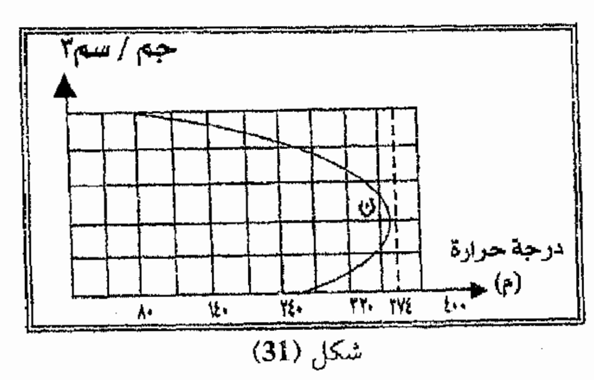
إن هذا التسخين يصحبه طبعاً تبخر السائل وبالتالي زيادة ضغطه وكثافة بخاره المشبع.

وقد أكدت التجربة أن السائل نفسه يتمدد وتقل كثافته طبعاً، وعلى هذا الأساس فكلما زاد التسخين، في الدورق المغلق، كلما قلت كثافة السائل المسخن من جهة وزادت كثافة بخاره المشبع من جهة أخرى، فهل يمكن الاستمرار على عملية التسخين هذه بحيث تصل إلى درجة حرارة يتساوى فيها كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع؟

وإذا كان هذا ممكناً، فهل يبقى فرق في مثل هذه الحالة بين السائل نفسه وبين بخاره المشبع؟

لقد أكدت أبحاث العالم الروسي منดليف (1834-1907م) أن لكل سائل درجة حرارة تتساوى فيها كثافة بخاره المشبع، مع كثافة السائل نفسه، وقد أطلق على درجة الحرارة هذا اسم «درجة الحرارة الحرجة للسائل».

ففي الشكل (31) نلاحظ التقاء الخط البياني لكثافة الماء (الخط البياني الأعلى) مع الخط البياني لكثافة بخاره (الخط البياني الأسفل) عند النقطة (ن)، والتي تحدد درجة الحرارة الحرجة للماء، والتي تبلغ 374° لاحظ الشكل (59)، وعلى هذا الأساس فإن درجة الحرارة الحرجة تعرف بأنها الدرجة التي تتساوى فيها كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع.



شكل (31)

<u>الجدول التالي يوضح درجات الحرارة الحرجة لبعض المواد</u>

المادة	د° مئوية		المادة	د° مئوية		المادة	د° مئوية
الماء	374.2		الاوكسجين	118.4-		الهيدروجين	341-
الكحول	243.1		النيتروجين	147.1-		الهيليوم	267.9-
الأثير	193.8		النيون	228.7-		الارجون	122.4-

ولكن ليس فقط تساوي كثافة السائل مع كثافة بخاره المشبع هو الذي يحدد درجة الحرارة الحرجة للسائل، وإنما يحددها أيضاً ضغط البخار المشبع لذلك السائل، وعلى هذا الأساس فإن ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة السائل الحرجة، يطلق عليه اسم الضغط الحرج لذلك السائل، وهو يعرف أنه أكبر ضغط ممكن يمتلكه البخار المشبع للسائل.

إن المادة في الحالة الغازية، عندما تكون درجة حرارتها أكبر من درجة الحرارة الحرجة لسائلها تسمى غازاً، أما إذا كانت درجة حرارتها أقل من درجة حرارة سائلها الحرجة، فتسمى عندئذ بخاراً فالماء في الحالة الغازية يكون غازاً عندما تكون درجة حرارته أكبر من 374°م ويسمى بخاراً عندما تكون حرارته أقل من 374°م وهي درجة الماء الحرجة.

الباب الثالث

(3)

الضـــــوء

- طبيعة الضوء
- أنواع الأطياف وطرق الحصول عليها
- تعريف الألوان الأساسية
- الألوان المتتامة
- سرعة الضوء
- قياس الضوء
- قوة إضاءة المصدر الضوئي
- توزيع الإضاءة في الغرف والمحلات

طبيعة الضوء

منذ أن تفتحت عينا الإنسان أدرك ما لضوء الشمس من اهمية بالغة فضوء الشمس يبدد وحشته، ويذهب خوفه من المجهول، وعلى مر الأيام أدرك ما لمواقع النجوم من أهمية، فاستخدمها في الهداية أثناء الليل، ومع بزوغ فجر الحضارة القديمة، بدأ الإنسان محاولات التعرف على طبيعة الضوء وتفسير بعض ظواهره.

وقد قام العالم العربي «الحسن بن الهيثم» بأبحاث كثيرة في علم الضوء كان لها أثر كبير في تطوره.

وفي النصف الثاني من القرن السابع وضع «نيوتن» نظرية تبحث في الضوء وطبيعته وتعرف بنظرية الدقائق لنيوتن، كما وضع (هيجنز) نظرية أخرة تعرف بالنظرية الموجبة.

1- نظرية الدقائق لنيوتن:

تنص على أن الضوء يتكون من دقائق مادية متناهية في الصغر تنبعث من الجسم المضيء وتنتشر في خطوط مستقيمة بسرعة كبيرة.

2. النظرية الموجبة لهيجنز:

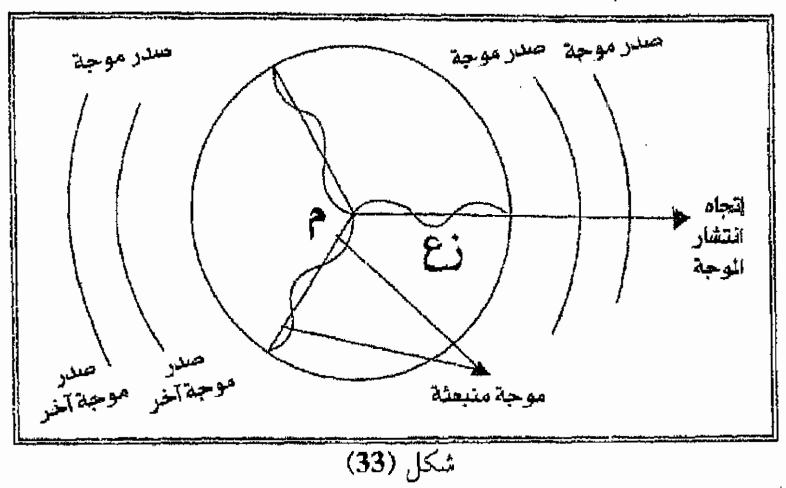
تنص على أن «الضوء عبارة عن طاقة تنتقل من مكان إلى آخر بواسطة موجات تحدثها هذه الطاقة في وسط شفاف فرض وجوده يفصل بين مصدر الضوء والعين ويسمى بالأثير».

ولبيان كيفية انتشار موجات الضوء:

نفرض منبعاً ضوئياً على هيئة نقطة مضيئة (م) يبعث موجاته في وسط متجانس كالهواء... هذه الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة واحدة (ع) لذلك فبعد زمن

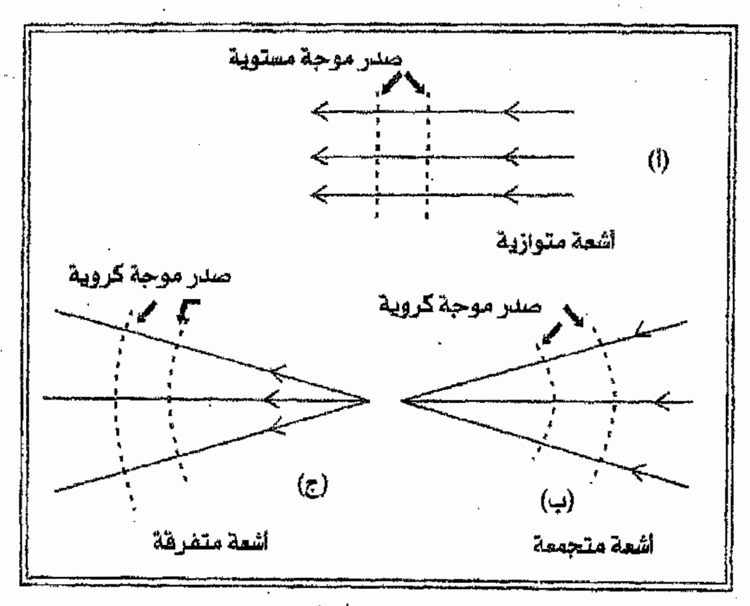
معين (ز) نجد أن هذه الموجات قد وصلت إلى سطح كرة مركزها المنبع الضوئي ونصف قطرها ع ز.

ويطلق على سطح الكرة اسم «صدر الموجه» ولما كان صدر الموجة كروياً فإن الموجات تعرف باسم «الموجات الكروية» كما في الشكل (33)



شكل (33)

وعندما يصبح صدر الموجة على بعد كبير جداً من المنبع الضوئي، فإن أي جزء صغير منه يبدو مستوياً وتعرف الموجات في هذه الحالة باسم الموجات المستوية والخط المستقيم الذي يدل على إتجاه انتشار الموجه يعرف باسم الشعاع الضوئي وبديهي أن الأشعة الضوئية تكون عمودية على صدر الموجه ومن هنا تكون الأشعة الضوئية متفرقة او متجمعة في حالة الموجات الكرية كما في الشكل (34-ب،ج) ومتوازية في حالة الموجات المستوية شكل (34-أ).



شكل (34)

وصدر الموجه «هو السطح الذي تكون جميع نقطه في طور واحد، وصاحب هاتين النظريتين اهتمام العلماء في البحث عن تفسير الظواهر الضوئية المختلفة على أساسهما.

وعجزت نظرية الدقائق لنيوتن عن تفسير ظاهرتي التداخل والحيود في الضوء، هذا فضلاً عن ان تفسير إنكسار الضوء تبعاً للطريقة التي استخدمها نيوتن، يتطلب أن تكون سرعة الضوء في وسط شفاف كالماء أو الزجاج اكبر من سرعته في الفراغ... وهذا يتعارض مع النتائج التجريبية لقياس سرعة الضوء والتي توضح أن سرعة الضوء في أي وسط شفاف تكون أقل من سرعته في الفراغ أو الهواء.

الظواهر الثلاث السابقة تفسرها بنجاح النظرية الموجية لهيجنز لكن بالرغم من هذا النجاح فإن النظرية الموجية تعجز عن تفسير ما يسمى «بالظاهرة الكهروضوئية».

الظاهر الكهروضوئية

اكتشف هرتز (عالم ألماني) سنة 1887م انبعاث بعض الإلكترونات من سطح الخارصين عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه وتعرف ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية أو أي نوع من الضوء باسم «الظاهر الكهروضوئية». ويتوقف عدد الإلكترونات المنبعثة من سطح فلز ما على كمية الضوء الساقط عليه ويزداد بزيادتها.

أما النهاية العظمى لطاقة حركة الإلكترون المنبعث فإنها تتناسب طردياً مع تردد الضوء المستخدم.

هذه الحقائق يصعب تفسيرها في ضوء النظرية الموجية لهيجنز.

وعقب اكتشاف العالم بلانك لنظرية الكم ونجاحها في شرح ظواهر الإشعاع الحراري، قام «إينشتين» بتوحيد نظريتي الضوء أحداهما مع الأخرى. إذ افترض أن الضوء عبارة عن جسيمات كل منها ذو طاقة (هـ د) وكتلة $\frac{هـ\ د}{ع^2}$ تعرف بالفوتونات (أو كميات الضوء) حيث (هـ) هو ثابت يسمى «ثابت بلانك»، (د) تردد الحركة الموجية المصاحبة لحركة الفوتون، ع سرعة الفوتونات وطبقاً لهذه الصورة لا توجد الفوتونات إلا متحركة بسرعة واحدة هي ع = 3×10^{10} سنتيمتر في الثانية وإذا توقفت عن الحركة تلاشت كتلتها وتحولت إلى طاقة يمتصها الجسم الذي أوقف حركة الفوتونات.

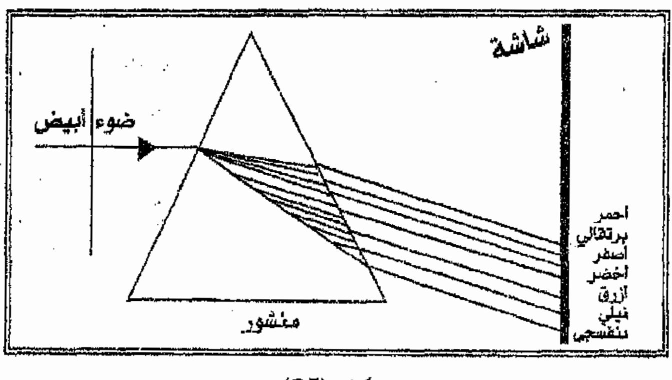
ويتضح من هذا أن اينشتين قد ربط هذه الجسيمات بحركة موجية مصاحبة للجسم ترددها (د) وتعرف هذه الجسيمات باسم الفوتونات (أو كمات الضوء) وتختلف الفوتونات عن الجسيمات العادية في أن لها حركة موجية مصاحبة وفي أن كتلتها تتلاشى عند توقفها عن الحركة مما سبق يتبين ما يلي:

يمكـن اعتبار الضوء مكوناً من كمات ذات طاقة محدودة «هـ د» تعرف بالفوتونات ... هذه الفوتونات في حركتها تأخذ مسار الشعاع الذي تحدده الحركة الموجية.

ظاهر التشتيت

إن ظاهـرة التشتيت هي ظاهرة تحليل الضوء بعد إنكساره، فلو أنك وجهت حزمة ضـيقة مـن ضـوء الشمس الأبيض نحو منشور زجاجي في غرفة مظلمة وأسقطت الضوء النافذ من المنشور على شاشة بيضاء لظهرت لك على الشاشة ألوان متداخلة.

هـذه الألـوان التي يتشتت إليها ضوء الشمس بعد نفاذه من المنشور تسمى «بطيف الشـمس» وكان العالم الإنجليزي نيوتن أول من لا حظ هذه الألوان وعدها وكانت سبعة هي الأحمر والبرتقالي والأصفر، والأخضر، والأزرق والنيلي والبنفسجي (شكل 35).



شكل (35)

يسـمى الضـوء المحتوى على عدة ألوان بالضوء المتعدد الألوان (مثل الشمس)، أما الضوء الذي لا يحتوي إلا على لون واحد فيسمى «بالضوء الأحادي اللون».

يـبدو في الشـكل (35) إن إنكسـار الضـوء الأحـمر الخـارج من المنشور ليس كبيراً كانكسـار الضـوء البنفسـجي كمـا أن إنكسـار بقـية الألـوان يقـع بـين الاثـنين الأحـمر

والبنفسجي، وإن دل اختلاف الضوء بألوانه المختلفة في المنشور على شيء فإنما يدل على أن معامل إنكسار الوسط مختلف باختلاف الألوان الضوئية.

ومن هنا فلا بد لنا إذا أردنا أن نتوخى الدقة في قياس إنكسار وسط من الأوساط أن نستخدم ضوءاً أحادي اللون ونعطي معامل إنكسار الوسط مقروناً بلون الضوء كما في الجدول التالي الذي يبين لنا إختلاف معامل انكسار الزجاج بتغير لون الضوء:

معاملات الإنكسار المختلفة.

اللون	الزجاج الاعتيادي	زجاج العدسات
الأحمر	1.515	1.622
الأصفر	1.517	1.627
الأزرق	1.523	1.639
البنفسجي	1.533	1.663

الطيف النقي

الطيف الذي نحصل عليه من المنشور الثلاثي لا يكون نقياً لأن الوانه تكون متداخلة بعضها في بعض فلا يمكن تمييز حدودها.

ويمكن أن نحصل على ألوان الطيف محددة واضحة وغير متداخلة، فيقال للطيف في هذه الحالة أنه «طيف نقي».

كيفية الحصول على الطيف النقي

يشترط للحصول على طيف نقي أن تتوافر الشروط الآتية:

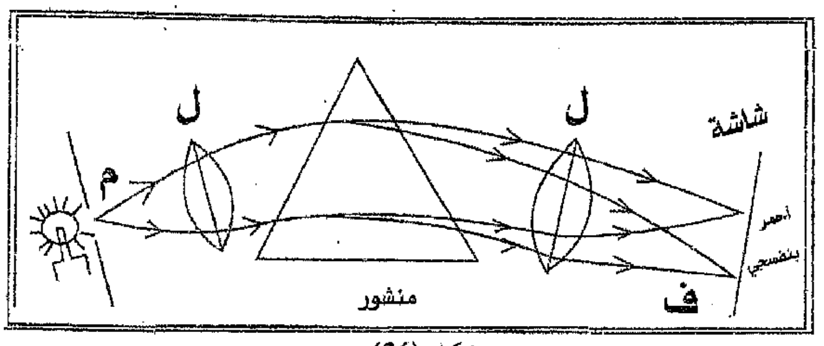
(أولاً) أن تكون الفتحة التي تدخل منها الأشعة الضوئية ضيقة لأن الثقب المتسع يمكن اعتباره عدة ثقوب ضيقة ينفذ من كل منها حزمة من الأشعة الضوئية، يتكون لكل

منها طيف خاص، وتقع صورة هذه الأطياف بعضها على بعض فتتداخل ألوانها فيبدو الطيف على الشاشة غير واضح.

(ثانياً):أن توضع عدسة لامة قبل المنشور، بحيث تقع الفتحة التي يدخل منها الضوء في بؤرتها، حتى إذا ما وصلت الأشعة إلى العدسة اخترقتها على هيئة حزمة متوازنة تسقط على المنشور بزاوية واحدة لجميع أشعتها.

(ثالثا) أن توضع عدسة لامة بعد المنشور بحيث تقع الشاشة في بؤرتها، فتتجمع الأشعة المتوازية لكل لون على حدة في نقطة واحدة.

ففي الشكل (36) تنفذ الأشعة المتوازنة من الثقب الضيق (م) الموضوع في بؤرة العدسة اللامة (ل) حتى إذا ما سقطت الحزمة الضوئية على العدسة نفذت منها متوازنة وسقطت على المنشور بزوايا سقوط متساوية فتنفذ فيه وتتحلل إلى ألوان الطيف.



شكل (36)

ثم تخرج منه وتكون أشعة كل لون متوازنة أيضاً، حتى إذا ما سقطت على العدسة اللامة (ل) في الجهة الثانية من المنشور، استقبلت الأشعة المتوازنة وجمعت أشعة كل لون من نقطة واحدة، بحيث إذا ما وضعت شاشة في بؤرة العدسة (ل) ظهر عليه طيف حقيقي بين (ف،ر).

أنواع الأطياف وطرق الحصول عليها:

وللطيف نوعان رئيسيان هما: طيف الانبعاث وطيف الامتصاص.

أولاً: طيف الانبعاث:

إذا شع جسم ضوءاً وتكون لهذا الضوء طيف سمي بطيف الانبعاث وينشأ من تسخين المواد بشدة لدرجة البياض أو من إمرار شرارة كهربائية خلال غازات مخلخلة، وهو نوعين:

(أ) طيف الانبعاث المستمر:

وهو ذلك الطيف الذي يتكون من جميع الألوان مثل طيف ضوء الماغنسيوم المتوهج وطيف ضوء المصباح الكهربائي وطيف ضوء الشمس.

وليس الطيف المستمر قاصراً على الألوان السبعة المذكورة سابقاً والتي تعرف بالطيف المرئي بل هناك أطياف اخرى لا نستطيع رؤيتها وتسمى بالطيف غير المرئي، فالمنطقة التي تأتي وراء نطاق اللون البنفسجي تعرف بمنطقة الأشعة فوق البنفسجية بالطيف، أما تلك التي توجد بعد اللون الأحمر فتسمى بمنطقة الأشعة تحت الحمراء.

أشعة تحت الحمراء ←	الطيف المرئي	→ أشعة فوق النفسجية
الأحمر		البنفسجي
λ= 17600 نجستروم		λ= 400 الجستروم

ومن الشكل (63) يتضح لنا أن طول أطول موجه في الضوء المرئي، وهي موجة الضوء الأحمر، يقارب بـ 8000 الجستروم وهذا ضعف طول أقصر موجة يمكن رؤيتها من الطيف المرئي، وهي موجة الضوء البنفسجي، والذي يقارب بـ 4000 الجستروم[*].

(*) الانجستروم وحدة طول صغيرة جداً تساوي جزءاً من مائة مليون جزء من السنتيمتر

(ب) طيف الانبعاث الخطي:

وهو عبارة عن خطوط ملونة منفصلة بعضها عن بعض بمناطق مظلمة وتختلف ألوانها وعددها وطريقة توزيعها باختلاف نوع العنصر، فلكل عنصر طيف خاص به.

وينشأ الانبعاث الخطي من اشتعال الغازات أو الأبخرة تحت ضغط عادي أو منخفض، مثلاً إذا غمست قطعة من سلك البلاتين المبللة بمحلول ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) في لهب موقد بنزين ونظر إلى الطيف – بعد مرور ضوء اللهب عبر منشور ثلاثي – لشوهد خطان أصفران براقان متقاربان بينهما منطقة مظلمة ضيقة وكل خط منهما يحتل مكاناً خاصاً في المنطقة الصفراء، من الطيف المرئي وقد يظهر هذا الخطان كخط واحد.

(ثانياً) طيف الامتصاص:

وهو عبارة عن خطوط مظلمة تقع على طيف مستمر وتسمى هذه الخطوط المظلمة بخطوط الامتصاص وتنشأ من أن كل غاز أو بخار يمتص من الأشعة التي تسقط عليه ما يمكنه إشعاعه بنفسه.

فلو مر الضوء المنبعث من سلك بلاتيني خلال بخار الصوديوم قبل سقوطه على المنشور الثلاثي لرأينا طيفاً مستمراً يحتوي على خط أسود في المنطقة الصفراء يحتل نفس المكان الذي يتولد فيه الخط الأصفر البراق لبخار الصوديوم المتوهج.

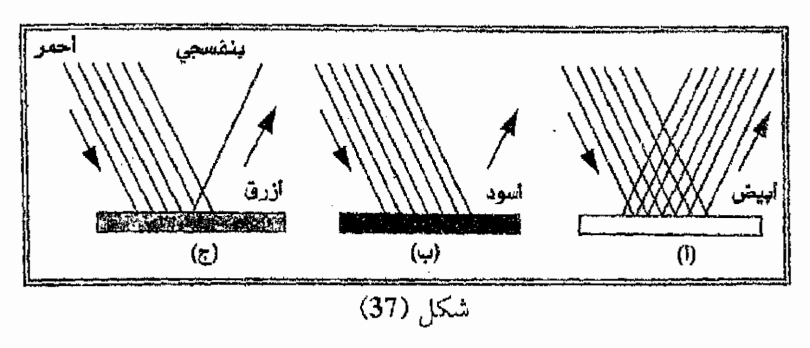
ألوان الأجسام:

يعتبر اللون صفة للضوء الذي يصل للعين وليس صفة للجسم الذي نراه لأن الأجسام تمتص بعض الألوان من الضوء الساقط عليها وتعكس البعض الآخر.

أي أن الانجسترون = $\frac{1}{100000000}$ سم = سم= 10^{-8} سم.

(أ) ألوان الأجسام المعتمة:

ما الذي يجعلنا نرى صفحة الكتاب بيضاء والسبورة سوداء وغلاف قلم الحبر أزرق؟



شكل (37)

عند سقوط أشعة الشمس على صفحة الكتاب البيضاء فإنها تعكس إلى العين جميع ألوان الطيف بالنسبة التي توجد عليها في الضوء الأبيض مما يؤدي إلى الإحساس باللون الأبيض شكل (37-أ).

وعند سقوط أشعة الشمس على السبورة السوداء فإنها تمتص جميع الألوان ولا تعكس منها شيئاً فتظهر سوداء شكل (37-ب).

وعند سقوط أشعة الشمس على جسم أزرق فإنه يمتص جميع الألوان عدا اللون الأزرق والذي تنعكس موجته لتسقط على العين فتسبب الإحساس باللون الأزرق شكل (37-ج)

وإذا وضعت الأجسام السابقة في غرفة مضاءة بضوء أحمر فكيف تبدو هذه الأجسام؟

عند سقوط أشعة الضوء الأحمر على صفحة الكتاب البيضاء فإنها تعكسها لتسقط على العين ومن ثم تبدو هذه الصفحة حمراء.

وعند سقوط هذه الأشعة الحمراء على السبورة السوداء فإنها تمتصها ولا تعكسها ومن ثم تظل سوداء كما هي.

وعند سقوط الأشعة الحمراء على جسم أزرق فإنه يمتص أشعة اللون الأحمر ولا يعكس شيئاً منها فيبدو أسود.

ما يمكن استخلاصه؟

يمكن أن نستخلص ما يلي:

لا يرى الجسم المعتم بلونه الحقيقي إلا إذا أضيء بضوء له نفس اللون، أو أضيء بضوء أبيض.

(ب) ألوان الأجسام الشفافة:

عندما ننظر إلى مصباح كهربائي من خلال لوح زجاجي شفاف أحمر اللون فإننا نرى المصباح أحمر، بينما يبدو المصباح أزرق إذا نظرنا إليه خلال لوح زجاجي شفاف أزرق اللون.. فكيف تعلل ذلك؟

عند سقوط أشعة الضوء على لوح شفاف أحمر اللون فإنه يمتص جميع الألوان عدا اللون الأحمر فيسمح لموجاته بالنفاذ لتسقط على العين مسببة الإحساس باللون الأحمر فيبدو المصباح أحمر.

وفي حالة اللوح الشفاف الأزرق فإنه يمتص كل ألوان الضوء الأبيض عدا الأزرق الذي ينفذ لترى العين المصباح أزرق اللون.

نستنتج مما سبق أن ألوان الأجسام الشفافة تنسب إلى قدرة مادة الجسم على امتصاص أجزاء معينة من أشعة الطيف وإنفاذ البعض الآخر الذي يصل إلى العين فيبدو الجسم ملوناً بها، أي أن لون الجسم الشفاف يعتمد على لون الضوء الذي ينفذ منه.

نظراً لأن زجاج الشبابيك يسمح لجميع الألوان أن تنفذ منه لذلك فهو عديم اللون، كذلك هي الحالة مع الماء وما يشبهه من السوائل.

والآن نرى كيف سيبدو لنا المصباح الكهربائي إذا نظرنا إليه من خلال لوحين شفافين من الزجاج أولهما أحمر والثاني أزرق؟

إن المصباح سيبدو لنا أسود وذلك لأن اللوح الأول سيمتص جميع ألوان الضوء الأبيض عدا الأحمر فإنه سينفذ منه وعندما تسقط أشعة اللون الأحمر على اللوح الثاني الأزرق يمتصها هذا اللوح وبذلك لا تنفذ منه أشعة أي لون إلى العين فيبدو الجسم أسود.

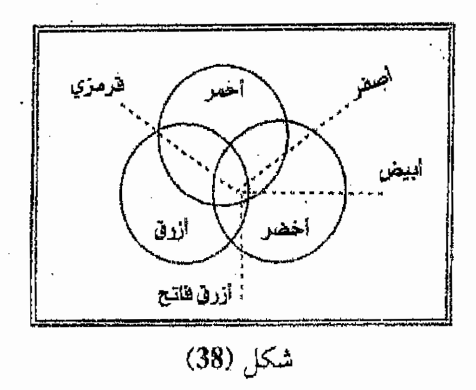
تعريف الألوان الأساسية (الأولية الجامعة)

اللون الأساسي هو كل لون لا يمكن إحداثه بخلط لونين أو أكثر خلافه، والألوان الأساسية ثلاثة هي: الأحمر- الأخضر- الأزرق.

هذه الألوان الثلاثة (الأحمر والأخضر والأزرق) هي الألوان الأولية الجامعة وتمثلها الدوائر الثلاث شكل (65).

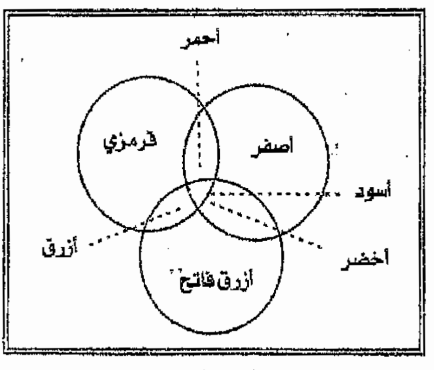
من الشكل (65) يتضح أنه عندما يمتزج اللونان الأحمر والأخضر ينتج اللون الأصفر وعندما يمتزج الأحمر والأزرق ينتج القرمزي وعندما يمتزج الأخضر والأزرق ينتج الأزرق الفاتح.

المزج في الشكل السابق بين أي لونين يتم بالجمع وفي الشكل (66) يتم مزج كل من الألوان الثلاثة الأصفر والقرمزي والأزرق الفاتح بالطرح، وتعرف هذه الألوان الثلاثة بالألوان الأولية بالطرح.



شكل (38)

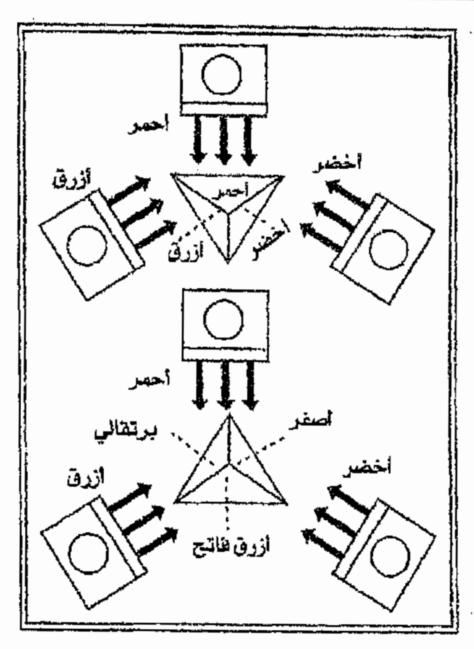
فعند طرح الأشعة الصفراء من الأشعة القرمزية ينتج اللون الأحمر، وعند طرح الأزرق الفاتح من الأصفر ينتج اللون الأخضر وعند طرح القرمزي من الأزرق الفاتح ينتج الأزرق.



شكل (39)

وللمزيد عن خلط الألوان بالجمع تجري التجربة التالية:

يمكن إعداد 3 صناديق ضوئية بحيث يمكن الحصول على ضوء أحمر من الصندوق الأول وضوء أخضر من الصندوق الثاني وضوء أزرق من الثالث.. ترتب الصناديق الثلاثة ليضيء كل منها أحد الأوجه الثلاثة لهرم أبيض.. فيبدو الوجه الأول أحمر اللون والوجه الثاني أخضر اللون والوجه الثالث أزرق اللون شكل (40)



شكل (40)

وبإدارة الهرم ببطء حتى الموضع الموضح بالشكل، وعند هذا الموضع يضاء كل وجه من أوجه الهرم بمزيج من لونين بالتساوي فتصبح أوجه الهرم الثلاثة مضاءة بالألوان الأولية بالطرح وهي الأصفر والقرمزي والأخضر المزرق.

وأثناء الدوران بين هذين الوضعين الموضحين بالشكلين يمكن رؤية جميع المتنوعات من خلط أي لونين على أوجه الهرم.

الألوان المتتامة :

إن أي لونين يتكون من مزجهما اللون الأبيض يسميان باللونين المتتامين مثال ذلك الأزرق الفاتح (مزيج الأخضر بالأزرق) متمم للأحمر، كذلك الأرجواني (مزج الأحمر بالأزرق) متمم للأخضر ويكون الأصفر (مزج الأحمر بالأخضر) متمم للأزرق.

وعلى ذلك فإن مزج أي لونين من الألوان الأساسية الثلاثة سيعطي لوناً متمماً للأساسي الثالث، كما أن مزج الألوان الأساسية الثلاثة يعطي لوناً أبيضاً

ومن أحد التطبيقات الخاصة بالألوان المتتامة في حياتنا اليومية إضافة الصبغة الزرقاء إلى الغسيل فالشائع بين الناس أن هذه الأقمشة البيضاء إذا أصابها بعض الإصفرار من طول الاستعمال والكي اضافوا إلى غسيلها صبغة زرقاء ليرجع لونها ناصع البياض لأن الأزرق يعادل الأصفر ويتكون من مزجهما اللون الأبيض.

مزج الألوان الإنتاج الضوء الأبيض:

إذا أمكن تشتيت الضوء المتعدد الألوان بواسطة المنشور إلى ألوان بسيطة فمن البديهي أن الألوان البسيطة يمكن مزجها لتوليد ضوء متعدد الألوان وهناك ثلاثة أساليب لإجراء مثل هذا المزج:

1. بواسطة منشور يوضع حيال الطيف الشمسي الصادر من منشور آخر حيث يقوم المنشور الأول بإعادة مزج الألوان مكوناً ضوءاً أبيض.
2. بواسطة قرص مصبوغ بألوان الطيف الشمسي بحيث تكون نسب الأصباغ على القرص مثل نسب الألوان في الطيف الشمسي فمثل هذا القرص متى دار بسرعة حول محور يمر بمركزه فإن الضوء الصادر من أحد ألوانه سيكون صورة على شبكية العين تستمر حتى تقوم الألوان الأخرى تباعاً بتكوين صور مماثلة على الشبكية يختلط الأمر على العين وتفسر الضوء الذي تراه بأنه أبيض.
3. أما الأسلوب الثالث فيتم بمزج لونين متتامين للحصول على اللون الأبيض.

خلط الألوان والأضواء

من المعروف أنه عند سقوط حزمة رفيعة من أشعة الشمس على منشور ثلاثي من الزجاج فإنه يحللها إلى ألوان الطيف السبعة المعروفة ويبدو الطيف كشريط ملون يبدأ باللون الأحمر وينتهي بالبنفسجي.

ويمكن تقسيم هذا الطيف إلى ثلاثة أجزاء متساوية بطريقتين مختلفتين عندما يمتزج اللون الأحمر والبرتقالي ينتج اللون الأحمر اللامع وعندما يمتزج اللونان الأزرق والبنفسجي ينتج اللون الأزرق البنفسجي.

وعندما يمتزج اللونان الأخضر والأصفر ينتج اللون الأخضر اللامع.

سرعة الضوء:

ظن الناس قبل عام 1675م أن الضوء ينتقل على العموم بحيث لا يحتاج إلى زمن لقطع أي مسافة ولو أن جاليليو شذ عنهم ورأى في الضوء أنه يحتاج إلى زمن معين لينتقل عبر الفضاء.

على أن فلكياً دنماركياً استطاع في نفس هذا العام أن يحسب سرعة الضوء بما يقارب من 186000 ميل في الثانية (1ميل= 1.608)، ذلك هو الفلكي رومر وقد عني العلماء بعد ذلك بقياس سرعة الضوء عن طريق التجارب المختبرية بصورة دقيقة جداً وكان ألمعهم في هذا المضمار الاستاذ ألبرت مايكلسون (1852-1931م) أستاذ الفيزياء في جامعة شيكاغو الذي قاس سرعة الضوء في الهواء وفي الفراغ بدقة فوق العادة.

ونتيجة للعديد من التجارب التي أجراها مايكلسون وجد أن سرعة الضوء في الهواء 299700 كم/ ثانية وسرعته في الفراغ 299790 كم/ ثانية.

يتبين مما تقدم أن سرعة الضوء في الفراغ أكبر قليلاً من سرعته في الهواء والقيمة المقبولة لسرعة الضوء في الفراغ اليوم هي 2.997924×10^{8} متر/ ثانية.

أما القيمة المقربة من القيمة الحقيقية لسرعة الضوء والتي تفيد كثيراً وتسهل الحسابات فهي 3×10^{5} كلم/ ثانية وبما أن الضوء له طبيعة موجيه مثل الصوت فيمكن تطبيق العلاقة:

ع= ت λ حيث ع : سرعة الضوء.

ت: تردده λ : طول موجته.

إن سرعة الضوء ثابتة مهما اختلف لونه، ولكن تختلف هذه السرعة باختلاف المادة المار فيها هذا الضوء، فمثلاً سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3×10^5 كم/ثانية بينما سرعته في الماء تساوي 2.25×10^5 كلم/ثانية.

ويمكن حساب سرعة الضوء في أي مادة من العلاقة:

$$\text{سرعة الضوء في الوسط (المادة)} = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{معامل الإنكسار المطلق للمادة}}$$

الطاقة الضوئية :

إننا نرى الأشياء بواسطة الطاقة الضوئية فالطاقة الشمسية هي صورة للطاقة الضوئية فعندما يعرض شخص ما جسمه للشمس فإنه يشعر بعد فترة زمنية أن جسمه بدأ يسخن أي أن درجة حرارته ترتفع، كما أنه بتعريض قطعة قطن طبي للأشعة الشمسية بواسطة استخدام عدسة محدبة سنجد أن هذه القطعة بدأت تحترق أي أنه بالإمكان إنتاج طاقة حرارية من طاقة الشمس الضوئية.

إن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكن بالإمكان تحويلها من صورة لأخرى (قانون بقاء الطاقة) وبهذا يمكن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية أو طاقة ميكانيكية ألخ.. وذلك بطرق مختلفة.

فتبخر ماء البحر بواسطة أشعة الشمس هو مثال حي على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية.

كما أن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية هو أيضاً ذات أهمية كبرى في كوكبنا الأرضي، فما يحدث يومياً في النبات هو امتصاص الأوراق الخضراء للطاقة

الضوئية بواسطة مادة الكلوروفيل وتحويلها إلى طاقة كيميائية حيث أنها تمتص ثاني أكسيد الكربون وتخرج الأكسجين.

قياس الضوء

صاحب التطور الصناعي والتقدم الحضاري ظهور مشكلات تتعلق بالإضافة وكيفية توزيعها في كل من المصانع وحجرات الدراسة وقاعات القراءة في المكتبات العامة.. بل وتوزيع الإضاءة في الشوارع والطرقات هذه المشكلات يمكن تذليلها متى تحولت إلى كميات عددية يمكن قياسها.. والكميات التي يراد قياسها كميتان، إحداهما تتعلق بالمصادر الضوئية وأخراها تتعلق بالسطوح المضاءة ولعلك تدرك أن كمية الضوء المنبعثة من مصباح كهربائي عادي أكبر من كمية الضوء المنبعثة من مصباح كيروسين ويعبر عن ذلك بأن قوة إضاءة المصباح الكهربائي أكبر من قوة إضاءة مصباح الكيروسين ولعلك تدرك أيضاً أنك إذا جلست لتقرأ كتاباً ساعة الغروب فإنك تحتاج إلى الاقتراب من النافذة إذ تحتاج صفحات الكتاب إلى زيادة كمية الضوء الساقط عليها لترى الكتابة بوضوح تام.

وترتبط ضيائية سطح بما يسمى بشدة استضاءته.

فما المقصود بقوة إضاءة مصدر؟ وما المقصود بشدة استضاءة سطح، سوف نناقش هاتين الكميتين وما يتفرع منهما فيما يلي:

قوة إضاءة مصدر (ق)

تعتمد غالبية المصطلحات التي ترد في علم الإضاءة- وهو العلم الخاص بقياس الضوء- على قوة المصدر المضيء والتي يرمز لها بالرمز (ق) وتقاس هذه القوى عادة بالشمعة أو القنديلة وذلك لأن الشمعة (القنديلة) كانت بالأصل مصدراً للإضاءة وحيث أن الشموع (القناديل) تختلف في الأنواع والظروف فإن الشمعة العيارية (القنديلة العيارية) تعرف الآن على أساسها أنها:

شدة الضوء الذي ينبعث من مساحة قدرها $\frac{1}{60}$ سم^2 من سطح أسود اللون (أي جسم ذو مقدرة على الإشعاع الكامل مثل أكسيد الثوريوم) درجة حرارته هي نقطة تجمد البلاتين وهي حوالي 1772°درجة م، وذلك تحت ضغط قدره 101325 نيوتن لكل متر مربع.

هذا من الناحية النظرية، أما من الناحية العملية فمن الأوفق الاعتماد على المصابيح المصممة والمصححة اعتماداً على الشمعة العيارية (القنديلة العيارية) وتتراوح قوة إضاءة المصابيح المتوهجة المستخدمة في الإنارة الداخلية للبيوت والمنشآت ما بين بضع شموع (قناديل) وعدة مئات من الشموع (القناديل).

فقوة إضاءة المصباح الكهربائي من فئة 40 وات تقرب من 35 شمعة (قنديلة) وقوة إضاءة مصباح المئة وات 130 شمعة (قنديلة) على حين تبلغ قوة إضاءة قصبة الفلورسنت من فئة أربعين وات– حوالي 200 شمعة (قنديلة).

الفيض الضوئي

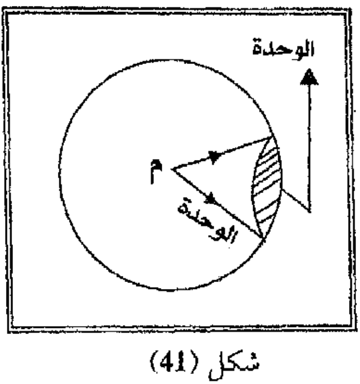
ليست كل الطاقة التي تنبعث من مصدر مضيء قادرة على توليد الإحساس بالرؤية، ذلك أن 70% من الطاقة التي يشعها مصباح قدرته 100 وات على سبيل المثال تقع في منطقة الطيف تحت الأحمر ولا يقع في منطقة الطيف المرئي من الطاقة إلا 10% فقط.

ويعرف الفيض الضوئي بأنه هو «كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من المصدر الضوئي في الثانية في جميع الاتجاهات والتي تولد الإحساس بالرؤية «أما وحدة الفيض الضوئي فهي «ليومن Lumen».

وحيث أن (الليومن) عبارة عن كمية من «الطاقة في الثانية» أو «قدرة» فلا بد أن تكون هناك علاقة بين الليومن والوحدة الميكانيكية للقدرة والتي تعرف بالوات وقد بينت

التجربة بأن الوات يعادل 621 ليومناً من الضوء الأخضر الذي يبلغ طول موجته 5.540×10^{-10} متراً.

ولتحديد ما نعنية بالليومن نتصور مصدراً ضوئياً نقطياً قوة إضاءته شمعة واحدة (قنديلة واحدة) يقع في مركز كرة نصف قطرها وحدة الأطوال، وأن جزءاً مقطوعاً من سطح الكرة مساحته وحدة المساحات شكل (41)



شكل (41)

يكون الضوء النافذ خلاله في زمن قدره ثانية هو ما يسمى بالليومن

الليومن

هو كمية الطاقة الضوئية المنبعثة في الثانية من مصدر ضوئي قوة إضاءته شمعة (قنديلة) واحدة والساقطة عمودياً على وحدة المساحات التي تقع على بعد وحدة الأطوال من هذا المصدر.

ومما تجب ملاحظته هنا أن الليومن ليس مقياساً لكمية الطاقة الضوئية التي يشعها المصدر المضيء وإنما هو معدل زمني للطاقة الضوئية الصادرة أو المتنقلة أو المكتسبة.

∵ مساحة سطح الكرة التي نصف قطرها نق= 4π نق^2

∴ مساحة سطح الكرة التي نصف قطرها وحدة= π ط

من تعريف الليومن ينتج أن:

الفيض الضوئي الساقط على وحدة مربعة من مصدر قوته شمعة (قنديلة)= 1 ليومن.

∴ الفيض الضوئي الساقط على 4π وحدة مربعة من مصدر قوته شمعة (قنديلة)= 4 ليومن.

أي أن: الفيض الضوئي لمصدر قوته شمعة واحدة= $4\ \pi$ ليومن.

وبذا يكون:

الفيض الضوئي لمصدر قوته (ق) شمعة (قنديلة)= $4\ \pi$ ق ليومن.

وعليه فإن المصدر الضوئي متى كانت قوته شمعة (قنديلة) واحدة فإنه يشع بمعدل زمني مقداره 4π ليومن أي $4 \times \frac{22}{7} = 12.57$ ليومن.

وقد جرت العادة في تقنين المصادر الضوئية على أساس ما تشعه من الفيض الكلي بحيث أن كل 12.57 ليومن (أي نحو 13 ليومن) تكافئ شمعة (قنديلة) واحدة ولذلك فإن المصباح الذي قدرته 40 وات يصمم على أساس 450 ليومن وقصبة الفلورسنت، التي قدرتها 40 وات على أساس 2600 ليومن.

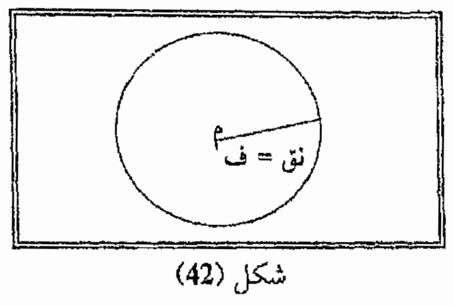
شدة استضاءة سطح (ش):

تقدير شدة استضاءة سطح بكمية الطاقة الضوئية الساقطة عليه في الثانية عمودياً على وحدة المساحات منه، ويرمز لها بالرمز (ش).

من التعريف السابق يمكن القول أنه إذا أضيء سطح ما إضاءة متجانسة منتظمة في كل ناحية منه فإن شدة استضاءته عندئذ هي النسبة بين الفيض الساقط على السطح ومسافة ذلك السطح، أي أن:

العلاقة بين شدة استضاءة سطح وقوة إضاءة المصدر الضوئي :

نفرض مصدراً ضوئياً نقطياً قوى إضاءته (ق) شمعة في نقطة مثل (م) ينبعث منه الضوء في جميع الاتجاهات فيكون الفيض الضوئي مساوياً (4 ط ق ليومن) ولنفرض نقطة مثل (أ) واقعة على سطح كرة مركزها (م) ونصف قطرها (نق) شكل (42) وحيث أن:



شكل (42)

$$\text{شدة الاستضاءة عند أ} = \frac{\text{الفيض الضوئي}}{\text{مساحة سطح الكرة}}$$

$$\therefore \text{ش} = \frac{\text{4 ط ق}}{\text{4 ط نق}^2} \quad \frac{\text{ق}}{\text{نق}^2}$$

أي أن :

$$\text{شدة أستضاءة نقطة على سطح} = \frac{\text{قوة إضاءة المصدر}}{\text{مربع بعد النقطة عن المصدر الضوئي}}$$

فإذا رمزنا لبعد النقطة عن المصدر بالرمز (ف) فإن :

$$\text{ش} = \frac{\text{ق}}{\text{ف}^2}$$

ومنها يتضح أن شدة استضاءة نقطة على سطح تتناسب طردياً مع قوة إضاءة المصدر.

مثال (1)

منبع ضوئي قوة إضاءته 100 شمعة (قنديلة) أوجد شدة استضاءة نقطة على سطح بعده العمودي عنه 50 متر.

الحل

$$ش = \frac{ق}{ف^2} = \frac{100 \text{ شمعة}}{(0.50 \text{ متر})^2} = \frac{100 \text{ شمعة}}{(0.50 \text{ متر})^2} = 400 \text{ ليومن / متر}^2$$

مثال (2)

ما شدة الاستضاءة على سطح منضدة تقع مباشرة تحت مصباح على بعد (4) أمتار عنه إذا كان المصباح يشع الضوء بمعدل زمني مقداره (1610 ليومن).

الحل

المصباح الذي قوة إضاءته شمعة (قنديلة) واحدة يشع الضوء بمعدل زمني مقداره (12.57 ليومن).

المصباح الذي قوة إضاءته ق شمعة (قنديلة) يشع الضوء بمعدل زمني مقداره (1610 ليومن)

شمعة	ليومن
1	12.57
ق	1610

∴ قوة إضاءة المصباح = $ق = \frac{1610}{12.57} = 128$ شمعة.

∴ شدة إستضاءة المنضدة = $ش = \frac{ق}{ف^2}$

$= \frac{128 \text{ شمعة}}{(4 \text{ متر})^2}$ 8 ليومن / متر^2

قوة إضاءة المصدر الضوئي

تقاس قوة إضاءة أي مصدر ضوئي بمقارنتها بقوة إضاءة مصدر عياري في جهاز يسمى الفوتومتر وهو على أنواع، منها.

1. فوتومتر بنزن

وقد يسمى أحياناً بالفوتومتر ذي البقعة الزيتية، فلو أنك مسكت ورقة تحتوي على بقعة زيتية أمام الضوء لبدت لك البقعة وأنت تنظر إليها من الخلف مضيئة أكثر من أية بقعة أخرى من بقاع الورقة وذلك لإمرارها الضوء أكثر من غيرها.

هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فالبقعة الزيتية عاكس ضعيف الضوء فإنك إذا نظرت إلى وجهها المضاء ظهرت لك البقعة الزيتية عن طريق الإنعكاس أقل إستضاءة وأكثر دكنة من بقية أجزاء الورقة.

هذه الصفات للبقعة الزيتية يستفاد منها في المختبر في صنع فوتومتر بنزن حيث تثبت ورقة تحتوي على بقعة زيتية بين مصباح عياري ومصباح آخر يراد قياس قوة إضاءته.

وتتخلص طريقة القياس في تحريك الورقة المصباحين حتى تتساوى شدة إستضاءة وجهيها وتبدو البقعة الزيتية من الجانبين بنفس الشكل وعندها تكون قوة إضاءة كل مصدر متناسبة مع مربع بعده عن الورقة أي:

$$\frac{\text{قوة إضاءة المصباح المجهول}}{\text{قوة إضاءة المصباح العياري}} = \frac{\text{مربع بعد المصباح المجهول عن الورقة}}{\text{مربع بعد المصباح العياري عنها}}$$

مثال (1)

أستخدم مصباح قوة إضاءته 20 شمعة كمصباح عياري في فوتومتر بنزن وقد لوحظ أن البقعة الزيتية أصبحت متساوية الاستضاءة عندما كانت على بعد 20 سم من

المصباح العياري وعلى بعد 80 سم من المصباح الذي قوة إضاءته مجهولة، كم هي قوة إضاءة المصباح المجهول؟

الحل

لما كان المصباح المجهول على بعد أكبر من بعد المصباح العياري عن الورقة فإن قوة إضاءة المصباح المجهول أكبر من قوة إضاءة المصباح العياري:

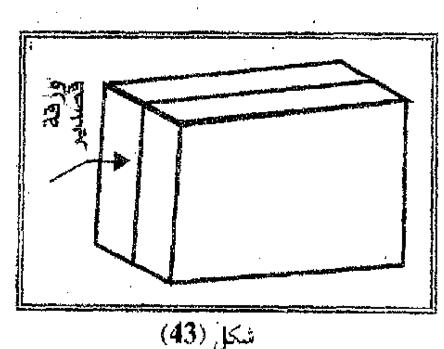
$$\frac{\text{قوة إضاءة المصباح المجهول}}{\text{قوة إضاءة المصباح العياري}} = \frac{\text{مربع بعد المصباح المجهول عن الورقة}}{\text{مربع بعد المصباح العياري عنها.}}$$

$$\text{قوة إضاءة المصباح المجهول} = \frac{(80\ \text{سم})^2}{(20\text{سم})^2} \times 20\ \text{شمعة}$$

$$= \frac{20\times 80 \times 80\ \text{شمعة}}{20\times 20} = 320\ \text{شمعة}$$

2. فوتومتر جولي

يمتاز هذا الفوتومتر عن سابقة بأنه أدق،ونتائجه أضبط وهو يتكون من قطعتين متماثلتين تماماً من شمع البرافين كل منها على شكل متوازي مستطيلات طوله 4 سم وعرضه 4 سم وسمكه 1 سم تقريباً.



شكل (43)

والقطعتان ملتصقتان على جانبي لوح رقيق من القصدير كما في الشكل (43) والضوء الذي يسقط على أي من وجهيه ينفذ فيه ولكنه لا يستطيع النفوذ من ورقة القصدير المعدنية .

فإذا وضع هذا الفوتومتر بين المصباح المجهول والمصباح العياري فإنه يمكن بتغيير بعده عنها جعل وجهيه في شدة استضاءه واحدة وذلك بالنظر إلى قطعتي الشمع من المسافة التي تتوسطها الورقة المعدنية حيث تبدو القطعتان بنفس الشكل.

ومتى قيست المسافة بين كل مصباح وبين الورقة المعدنية أمكن حساب قوة إضاءة المصباح المجهول بنفس الحساب والقانون الذي اتبعناه في فوتومتر نبزن.

توزيع الإضاءة في الغرف والمحلات العامة.

إن توزيع الإضاءة في مكان يتطلب معرفة شدة الإستضاءه المطلوبة فيه وقوة إضاءة المنابع التي يمكن استخدامها.

ولمعرفة شدة الاستضاءة المطلوبة تحدد وفق مواصفات معينة في هذا المكان ثم تغير تدريجياً حتى نصل إلى شدة الاستضاءة التي يرتاح إليها العاملون وبعد معرفة ذلك تستخدم منابع ضوئية مناسبة توزع بكيفية معينة تكفل عدم وجود ظلال أو أشباه ظلال.

وقد أجريت عدة اختبارات لمعرفة شدة الاستضاءة المناسبة لبعض الأماكن ونتائجها مدونة في الجدول التالي:

المكان	شدة الاستضاءة المطلوبة قدم- قنديلة
مخازن عامة	4-2
فصول دراسية	10-5
محال عامة	15-10
محال ترزية- منضدة بلياردو	20
غرفة عمليات	100

والإضاءة الجيدة مريحة للأعصاب مما يساعد العاملين على وفرة الإنتاج

الفوترمترية (القياسات الضوئية):

إذا أضيء حائل مثلاً بمنبع ضوئي قوته $ق_1$ ثم بمنبع ضوئي آخر قوته $ق_2$ تكون شدة استضاءة سطحه في الحالتين هما:

$$ش_1 = \frac{ق_1}{ف_1^2} \quad ، \quad ش_2 = \frac{ق_2}{ف_2^2}$$

وإذا ضبطت المسافتان $ف_1$،$ف_2$ بحيث تكون $ش_1 = ش_2$ فإن:

$$\frac{ق_1}{ف_2^2} = \frac{ق_2}{ف_2^2}$$

أي أن:

$$\frac{ق_1}{ف_1^2} = \frac{ق_2}{ف_2^2}$$

ومن العلاقة الأخيرة يمكن مقارنة قوتي إضاءة منبعين ضوئيين أو قياس قوة إضاءة إحدهما بمعلومية إضاءة الآخر، وهو أساس عمل الفوتومترات.

كيف نستفيد من دراسة القياسات الضوئية في طبع الصور وإظهارها؟

لعلك تعلم أنه لطبع صور فوتوغرافية وإظهارها ثم تثبيتها أن الصورة السلبية توضع في مكبر خاص ليسلط عليها الضوء فتتكون لها صورة داخل السلبية توضع في مكبر خاص ليسلط عليها الضوء فتتكون لها صورة داخل إطار معين يمكن بضبط وضع المكبر ورؤيتها واضحة ثم تغلق فتحة المكبر بقرص أحمر وتوضع الورقة الحساسة داخل الإطار ثم يزاح القرص الأحمر.. وتترك الورقة الحساسة فترة مناسبة تتعرض فيها للضوء ثم ترفع وتوضع في محلول كيميائي آخر يعرف بالمثبت حتى لا تتأثر بالضوء بعد ذلك.

ووضوح الصورة التي تم طبعها يتوقف على كمية الضوء التي سلطت على الورقة الحساسة وتكون:

كمية الضوء= شدة الاستضاءة ×المساحة المعرضة من الورق الحساس× زمن التعريض.

وقد نحتاج عند طبع الصور إلى تكبير بعضها عن الآخر ويترتب على ذلك إزاحة المكبر بعيداً عن الورقة الحساسة، مما يضعف من شدة الاستضاءة لذلك إذا أريد ان تكون للصور المختلفة نفس الوضوح يراعى أن تكون كمية الضوء واحدة في جميع الحالات.

مثال (1)

إذا كان الزمن اللازم لطبع صورة على بعد 40 سم من مصباح قوة إضاءته 32 قنديلة هو 4 ثانية، فما الزمن اللازم لطبعها إذا وضعت على بعد 20 سم من منبع قوة إضاءته 16 قنديلة.

الحـــل

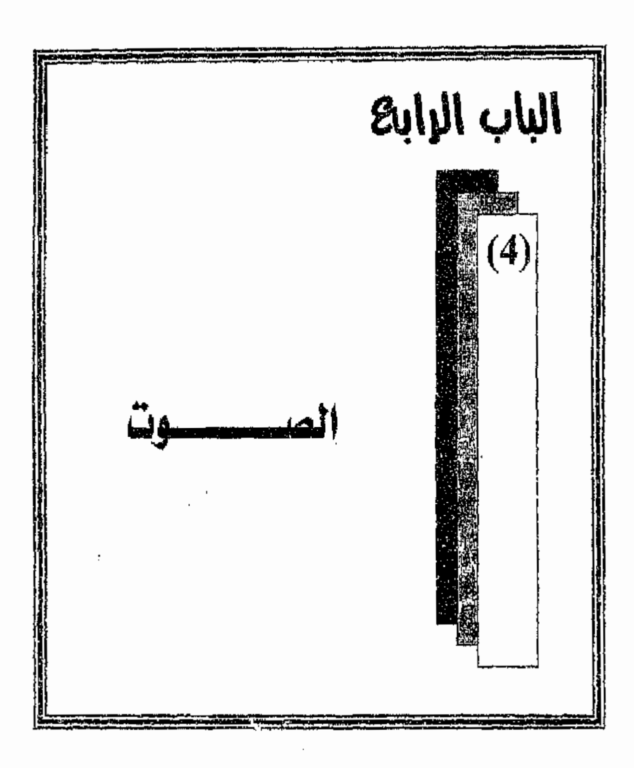
نفرض أن مساحة الصورة = س في الحالتين:

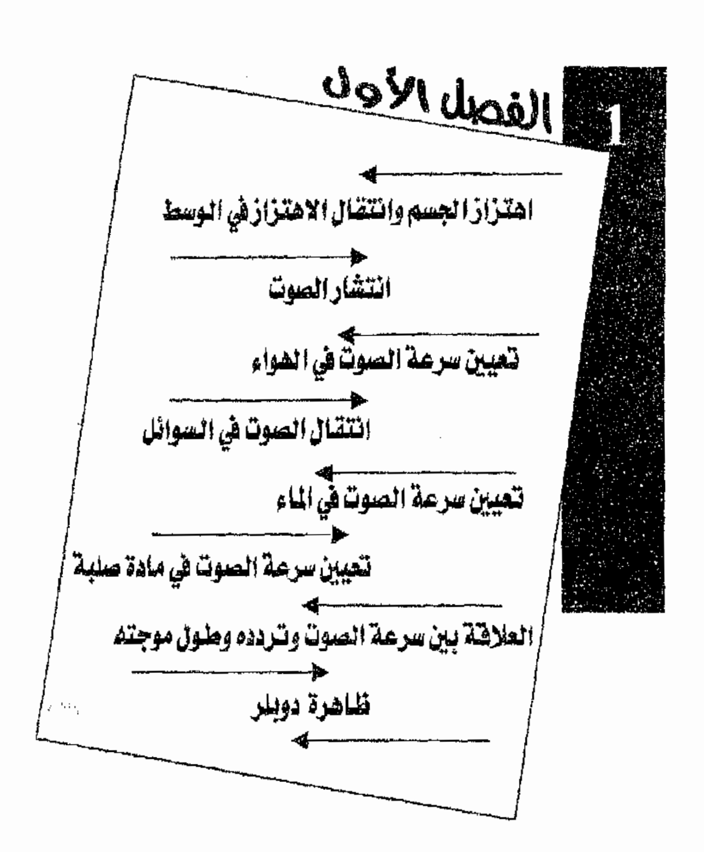
∵ كمية الضوء في الحالة الأولى= كمية الضوء في الحالة الثانية.

∴ $ش_1 \times س \times ز_1 = ش_2 \times س \times ز_2$

$$\frac{32}{4 \times 40} \times 4 = \frac{16}{20 \times 20} ز_2$$

∴ $ز_2 = 2$ ثانية.


الباب الرابع
(4)
الصــــوت


1
الفصل الأول
اهتزاز الجسم وانتقال الاهتزاز في الوسط
انتشار الصوت
تعيين سرعة الصوت في الهواء
انتقال الصوت في السوائل
تعيين سرعة الصوت في الماء
تعيين سرعة الصوت في مادة صلبة
العلاقة بين سرعة الصوت وتردده وطول موجته
ظاهرة دوبلر

الفصل الأول

إهتزاز الجسم وإنتقال الإهتزاز في الوسط

تسمع في حياتك اليومية كثيراً من الأصوات، كصوت جرس المدرسة أو طرق الباب أو صوت آلة موسيقية أو أصوات الحيوانات..الخ، وتميز الأذن بين مختلف هذه الأصوات ونغزو كلاً منها إلى مصدرها حسبما تعودت سماعه وكذلك إذا أخذت شوكة رنانة وطرقت شعبتيها (فرعيها) تسمع لها صوتاً ولو أمعنت النظر في شعبتي الشوكة الرنانة لرأيتها تهتز وعند ملامسة أحد فرعيها لسطح المنضدة تلاحظ طرقات متتابعة تدل على اهتزازها.

إذا لاحظنا الطرق المختلفة لاحداث الصوت لجد أنه لا بد من بذل شغل في كل حالة فمثلاً عملية طرق الشوكة التي جعلتها في حالة اهتزاز هي عبارة عن شغل اكتسبته الشوكة الرنانة على هيئة ميكانيكية (حركية) وهذه بدورها تتحول إلى طاقة صوتية.

عند سقوط الطاقة الصوتية لأي مصدر (مثلاً الطاقة الصوتية للشوكة الرنانة) على طبلة الأذن تجعلها تهتز تبعاً للحركة الاهتزازية لمصدر الصوت فيحدث، الإحساس بالسمع لصوت هذا المصدر ومن ذلك نستنتج بأن الصوت هو عبارة عن صورة من صور الطاقة إذا استقبلتها الأذن يحدث الإحساس بالسمع.

ويمكن أيضاً أن يعرف الصوت كالتالي: «الصوت ظاهرة طبيعية تنتج عن اهتزاز الأجسام وتدرك بحاسة السمع».

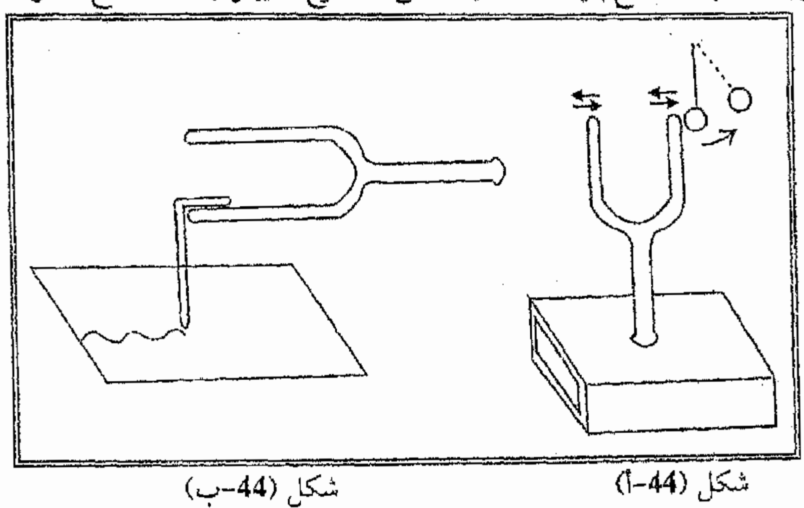
ليس هناك من صوت يحدث دون أن يهتز جسم بسبب ذلك الصوت فقد يحدث الاهتزاز في فترات زمنية منتظمة ونسميه عندئذ اهتزازاً دورياً كالصوت الصادر عن نقر سطح الطاولة بأصابع اليد في فترات منتظمة، ومثل هذا الصوت ترتاح لسماعه الأذن

ويسمى صوتاً موسيقياً أما إذا حدث الاهتزاز فجأة ولم يتكرر بانتظام كصوت انفجار البارود وضجيج السيارات فلا ترتاح له الأذن ويسمى مثل هذا الصوت (صوت غير موسيقي).

بإجراء التجارب التالية يمكن اثبات أن الصوت يصدر من جسم مهتز.

تجربة (1)

ثبت شوكة رنانة على صندوق خشبي علق كرة نخاع البيلسان بخيط حر الحركة، أطرق الشوكة الرنانة وقرب منها كرة نخاع البيلسان، تلاحظ ابتعاد الكرة بقوة عن فرع الشوكة وكأنها تلاقي صدمات متتابعة وذلك نتيجة لإهتزاز الشوكة كما في الشكل (44-أ) ولو أمسكت بفرع الشوكة الرنانة حتى ينقطع الصوت وقربت الكرة منه لوجدت أنها لا تندفع بعيدة عنه مما يدل على أن الفرع لا يهتز ولذلك انقطع الصوت.



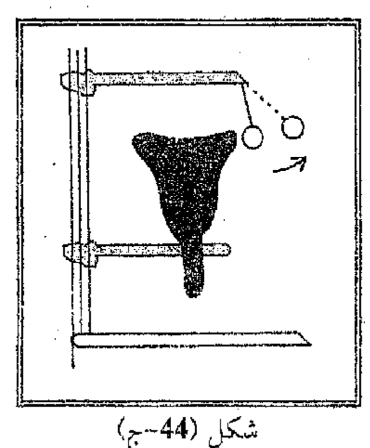
شكل (44-أ) شكل (44-ب)

تجربة (2)

الصق بقليل من الشمع سلكاً دقيقاً على أحد فرعي شوكة رنانة شكل (44-ب) ثم أطرقها لتصدر صوتاً، أجعل الطرف الآخر للسلك يلامس لوحاً زجاجياً عليه سناج، فتلاحظ أن السلك يرسم خطاً متموجاً مما يدل على اهتزاز الشوكة ولو جربت ذلك بعد سكون الصوت للاحظت بأن السلك يرسم خطاً مستقيماً لأن اهتزاز الشوكة قد توقف.

تجربة (3)

خذ ناقوساً من المعدن أو الزجاج، اطرق جدار الناقوس بمطرقة من الخشب تسمع صوتاً واضحاً إذا جعلت كرة لخاع البيلسان المعلقة بخيط حر تلامسه لجد أن الكرة تبتعد عنه بقوة كأنها تلاقي صدمات متكررة وذلك نتيجة اهتزاز جدار الناقوس شكل (44-ج) المس جدار الناقوس، يختفي الصوت، ولجد أن الكرة لا ترتد كالسابق مما يدل على انعدام الاهتزازات، ولو وضعت في الناقوس كمية من الماء قبل لمسه لشاهدت تموجات على سطح الماء نتيجة اهتزاز الناقوس وعند لمسك للناقوس لا تلبث هذه التموجات أن تنقطع.



شكل (44-ج)

انتشار الصوت

تنتج الطاقة الصوتية نتيجة اهتزاز جسم ما تنتشر الطاقة الصوتية بواسطة الوسط المادي شريطة أن يكون متصل وقابلاً للتذبذب (كوم من الرمل مثلاً يعتبر وسط غير قابل للتذبذ) وبواسطة الكاشف (الأذن) يمكن الكشف عنه أي أن الطاقة الصوتية تنتقل في الوسط المادي من مصدر الصوت إلى الأذن الطاقة الصوتية تنتقل في الوسط المادي من مصدر الصوت إلى الأذن بواسطة الوسط المادي سواء كان صلباً أو سائلاً أو غازياً.

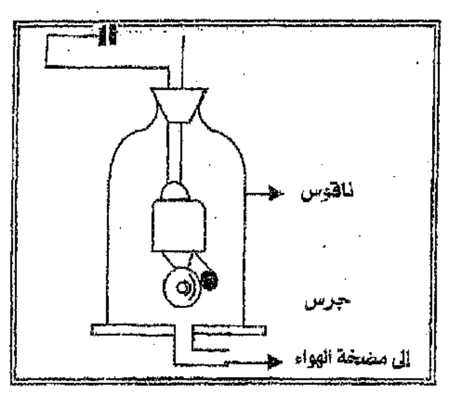
عند اهتزاز مصدر الصوت فإن الطاقة الميكانيكية (حركية) للمصدر تنتقل إلى جزيئات الوسط الملامس فتكتسب هذه الجزيئات طاقة ميكانيكية تجعلها في حالة اضطراب وتذبذب حول موضع سكونها وتنتقل الطاقة لهذه الجزيئات إلى الجزيئات المجاورة لها وتجعلها أيضاً في حالة اضطراب وهكذا تنتقل الطاقة الصوتية عبر جزيئات الوسط بشكل موجات، تصل إلى الكاشف (الأذن) ويتذبذب هو الآخر فيسمع الصوت.

أهمية وجود الوسط المادي في انتقال الصوت

يمكن أن نتبين أن الصوت لا ينتقل في الفراغ ولكنه يحتاج إلى وسط مادي بالتجربة التالية:

تجربة

ضع جرساً كهربائياً تحت ناقوس مفرغة الهواء شكل (45)، شغل الجرس ثم ابدأ في تفريغ هواء الناقوس نلاحظ انخفاض الصوت تدريجياً أدخل الهواء تدريجياً إلى الناقوس تلاحظ ارتفاع صوت الجرس تدريجياً.



شكل (45)

لو استبدل هواء الناقوس بغاز آخر مثل ثاني أكسيد الكربون وكررنا التجربة لحصلنا على نفس النتيجة، بذلك نستنتج أن الصوت لا ينتقل في الفراغ.

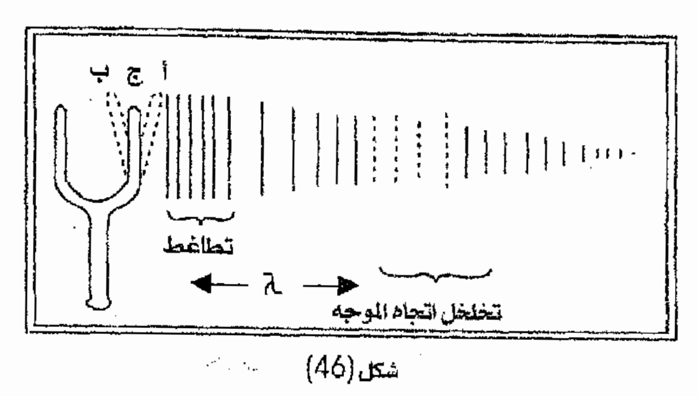
لذلك أيضاً لا يسمع الإنسان الانفجارات الهائلة التي تحدث في الشمس والتي يعادل أقل إنفجار فيها عشرات القنابل الذرية، وإلا لما استطاع الإنسان أن يعيش باطمئنان من صوت هذه الانفجارات.

انتقال الصوت في الهواء

عندما ينبعث صوت من جسم مهتز نلاحظ أننا نسمع الصوت في جميع الاتجاهات حول مصدره لذلك يعتبر انتقال الصوت في الهواء ظاهرة وثيقة الصلة بحياة الإنسان فهي من وسائل التفاهم والتخاطب حيث يمكن لطلاب الصف سماع شرح المدرس كما أنها تعتبر من وسائل التنبيه ضد الأخطار ويعتمد عليها الطبيب عند فحص مرضاه..الخ.

تفسير انتقال الصوت في الهواء

إذا أخذنا بعين الاعتبار ان الصوت المنبعث من اليسار إلى اليمين من أحد فرعي شوكة رنانة كما هو مبين في الشكل (46) فإن تفسير انتقال الصوت يتم كالآتي:



شكل (46)

1. عند تحرك فرع الشوكة الرنانة من موضع سكونها (ج) إلى (أ) تضغط على جزيئات طبقة الهواء المجاورة لها مكونة تضاغط، وحتى تحافظ هذه الجزيئات على مسافة اتزانها تضغط على جزيئات طبقة الهواء المجاورة لها وهكذا ينتقل التضاغط إلى الطبقة المجاورة.

2. عندما يعود فرع الشوكة إلى وضعه الأصلي (ج) بعد زمن قصير يكون التضاغط قد تقدم مسافة قصيرة بعيداً عن الشوكة.

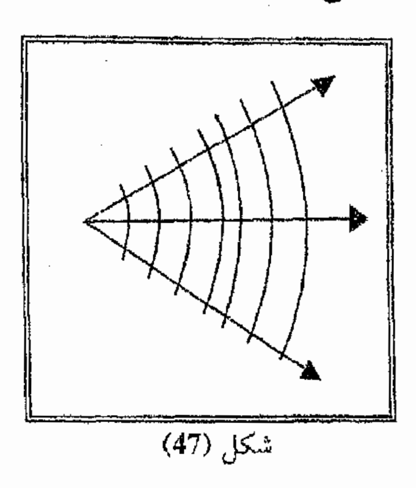
3. وعندما يتحرك فرع الشوكة من (ج) إلى (ب) يتقدم التضاغط مسافة أكبر بعيداً عن الشوكة، وفي نفس اللحظة تزاح جزيئات طبقة الهواء المجاورة من فرع الشوكة وتزداد المسافة بين الجزيئات عن مسافة الاتزان مكونة تخلل مما يؤدي إلى اندفاع طبقة الهواء المجاورة في اتجاه منطقة التخلخل أي يتقدم التخلخل مسافة قصيرة بعيداً عن الشوكة إلى منطقة الجزيئات المندفعة متابعاً للتضاغط.

4. وعند عودة الشوكة من (ب) إلى (ج) بعد زمن قصير يكون التخلخل قد تقدم مسافة قصيرة بعيداً عن الشوكة، وبذلك يكون فرع الشوكة قد عمل اهتزازة واحدة، وهكذا نتيجة لاستمرار فرع الشوكة تنتقل نبضات التضاغط والتخلخل بالتناوب في الهواء إلى أن تصل الأذن فيسمع الصوت.

ملاحظات عامة حول الموجه الصوتية في المواد الغازية:

1. عند اهتزاز شعبة أو فرع الشوكة الرنانة فإنها تتذبذب حول موضع سكونها وبنفس الطريقة أيضاً تتذبذب جزئيات الهواء حول موضع سكونها دون الانتقال من المصدر إلى الأذن مكونة تضاغطات وتخلخلات تسمى بالموجة الصوتية.
2. بما ان حركة جزئيات الوسط موازية لاتجاه الموجة فتكون التضاغطات والتخلخلات بذلك موجه طولية أي ان الموجة الصوتية هي موجة طولية.
3. الطول الموجي (λ) هو البعد أو المسافة بين مركزي تضاعطين متجاورين أو مركزي تخلخلين متجاورين.
4. تردد الموجة الصوتية يساوي تردد المصدر والذي يساوي عدد الذبذبات أو الاهتزازات التي يعملها المصدر في الثانية.
5. إذا كانت حركة الجسم المهتز (المصدر) تتذبذب بحركة توافقية فإن جزيئات الهواء أيضاً تتذبذب بحركة توافقية مولدة موجات طولية تتذبذب أيضاً بحركة توافقية.
6. تختلف سرعة انتشار الموجة الصوتية من غاز إلى آخر، كما تعتمد سرعة الموجة على درجة حرارة الغاز فسرعة الصوت في الهواء 332 متراً/ ثانية في درجة الصفر المئوية بينما سرعته في ثاني اكسيد الكربون 259 متراً/ ثانية في درجة الصفر المئوي.
7. تنتقل طاقة الجسم المهتز (الصوت) إلى مسافة معينة بواسطة ميكانيكية الموجة الطولية ولكن نتيجة الاحتكاك (حرارة) في الوسط تفقد جزءً من طاقتها ولهذا عندما تتقدم الموجة تقل سرعتها كما يتأثر انتقال الموجة بوجود حواجز وعوائق في الوسط.
8. سرعة انتقال الموجة الصوتية في الهواء أقل من سرعة انتقالها في السائل والمواد الصلبة.
9. بما أننا نسمع الصوت في جميع الاتجاهات حول المصدر، وسرعة الصوت ثابتة في الوسط الواحد فبعد زمن معين يمكن أن يسمع الصوت على مسافات متساوية في

جميع الاتجاهات حول المصدر أي يمكن تخيل أن الموجة الصوتية تنتشر في الهواء على شكل كرات متزايدة الإتساع ومركزها جميعاً هو مصدر الصوت شكل (47).



شكل (47)

تعيين سرعة الصوت في الهواء

(أ) طريقة التوقيت المتبادل:

(1) تختار محطتين المسافة بينهما كبيرة (30 كيلو متر) بحيث لا يوجد بينهما عائق للصوت ويقف رجل في كل محطة.

(2) يطلق الأول قذيفة، ويلاحظ الرجل الثاني الفرق في الزمن بين رؤيته للوميض وسماعه الإنفجار باستعماله ساعة إيقاف (Stop Watch)، وبما ان الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع المسافة بين المحطتين صغيراً جداً فيمكن إهماله، ولذلك يعتبر الزمن المحسوب هو الزمن الذي يستغرقه الصوت في قطع المسافة بين المحطتين.

(3) تحسب سرعة الصوت بالتعويض في القانون التالي:

(4) تكون هذه الطريقة عرضة للخطأ وذلك لتأثير الريح على سرعة الصوت كالتالي:

$$\text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافة بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافة}}$$

- إذا كان الريح بإتجاه الصوت:

سرعة الصوت= سرعة الصوت في الهواء الساكن + سرعة الريح.

- إذا كان الريح بعكس إتجاه الصوت:

سرعة الصوت= سرعة الصوت في الهواء الساكن- سرعة الريح.

وحتى نتخلص من تأثير الريح نلجأ إلى التوقيت المتبادل.

(5) يطلق الرجل الأول القذيفة ويلاحظ الرجل الثاني الزمن ثم يتبادلان المهمة فيطلق الرجل الثاني القذيفة ويلاحظ الرجل الأول الزمن، ثم يؤخذ معدل الزمنين.

(6) تحسب السرعة كالتالي:

$$\text{معدل الزمنين} = \frac{\text{الزمن الأول} + \text{الزمن الثاني}}{2}$$

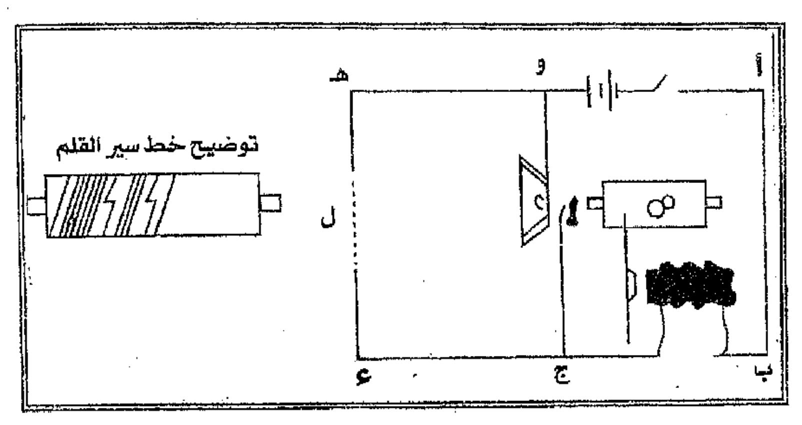
$$\text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافة بين المحطتين}}{\text{معدل الزمنيين}}$$

عيوب هذه الطريقة :

عدم التوافق العصبي العضلي للشخص الذي يحسب الزمن، إذ تمضي فترة زمنية بين رؤيته للضوء وتشغيله لساعة الإيقاف، ثم تمضي فترة زمنية مختلفة بين سماعة للصوت وإيقافه للساعة، وقد أمكن التخلص من هذا العيب بتعيين سرعة الصوت بطريقة كهربائية.

(ب) طريقة رينولت الكهربائية:

لتعيين سرعة الصوت في الهواء استعمل رينولت (Regnault) التوقيت المتبادل بين محطتين المسافة بينهما (1280-2445 متر) حيث وضع جهاز كهربائي شكل (48) في كل محطة.



شكل (48)

يتركب الجهاز الكهربائي من:

(1) دائرة كهربائية أ ب د ه مكونة من مصدر للتيار المستمر، مفتاح مغناطيس كهربائي (ط)، سلك رقيق (ك)

(2) دائرة كهربائية (أ ب ج ل ن) ومكونة من مصدر للتيار المستمر، مفتاح، مغناطيس كهربائي (ط) مخروط خشبي (ر) منتهي بغشاء معدني (ن) تقابله من الخلف قطعة معدنية (ل).

(3) اسطوانة (ص) تدور حول محورها بسرعة منتظمة يلامسها سن قلم (س) مثبت في ساق معدنية مرنة تتحرك حول مركز ثابت (م) ومثبت في الساق قطعة من الحديد تقابل المغناطيس الكهربائي (ط).

(4) بندقية كمصدر للصوت.

الخطوات:

(1) عندما تصدر البندقية طلقة نارية ينقطع السلك (ك) فتنفتح الدائرة الكهربائية الأولى ويفقد المغناطيس الكهربائي (ط) صفاته المغناطيسية فتعود القطعة الحديدية إلى مكانها الأصلي، ويرسم القلم خطاً متعامداً مع خط سيره الأصلي يحدد لحظة حدوث الصوت عند السلك (ك) في المحطة الأولى.

(2) عند وصول الموجات الصوتية إلى المخروط (ر) في المحطة الثانية فإنها تضغط على الغشاء المعدني (ر) فيلامس القطعة المعدنية (ل) فتقفل الدائرة الكهربائية الثانية ويكتسب المغناطيس الكهربائي (ط) صفاته المغناطيسية فيجذب القطعة الحديدية إليه، ويرسم القلم على الإسطوانة خطاً متعامداً مع خط سيره الأصلي مرة أخر يحدد لحظة وصول الصوت إلى المخروط (ر) في المحطة الثانية.

(3) بمعلومية المسافة بين العلامتين (الخطان المتعامدان مع خط السير الأصلي) على الأسطوانة وبمعلومية سرعة دوران الأسطوانة يمكن حساب الزمن الذي يستغرقه الصوت في قطع المسافة بين المحطتين:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

$$\therefore \text{سرعة الصوت} = \frac{\text{المسافة بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافة}}$$

(4) وبتبادل إطلاق النار بين المحطتين وقياس سرعة الصوت بنفس الجهاز من المحطة الثانية إلى الأولى تحسب سرعة الصوت مرة ثانية وتكون سرعة الصوت الدقيقة هي معدل السرعتين وفي هذه الطريقة يكون مقدار الخطأ في العامل الشخصي صغيراً جداً.

وقد وُجد أن معدل نتائج سرعة الصوت في درجة الصفر المئوي تساوي 331.5 م/ث تقريباً.

مثال (1)

في تجربة رينولت لتعيين سرعة الصوت في الهواء كان نصف قطر الأسطوانة المستخدمة 2.86سم، وتعمل دورة واحد في الدقيقة وكان بعد مصدر الصوت عن المخروط 3340 متراً، فإذا عملت أن المسافة بين العلامتين المرسومتين على الأسطوانة والمحددتين للحظة انطلاق الصوت ولحظة وصوله إلى المخروط هي 3سم، فأحسب سرعة الصوت في الهواء.

الحل

محيط الأسطوانة= 2π نق= 3.14 × 2.86= 17.96سم

∴ سرعة دوران الأسطوانة= 17.96سم/ دقيقة= $\frac{17.96}{60}$

=0.3سم/ ثانية تقريباً.

∴ الزمن الذي يستغرقه الصوت في الوصول إلى المخروط= $\frac{3}{0.3}$

=10ثواني.

∴ سرعة الصوت في الهواء= $\frac{3340}{10}$ = 334 م / ث

انتقال الصوت في السوائل

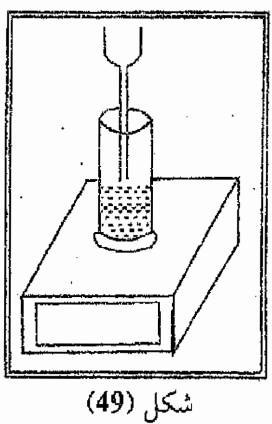
لقد ثبت أن السوائل تنقل الأمواج الصوتية خلالها والتجربة التالية توضح ذلك.

تجربة

(1) خذ أنبوباً مفتوح الطرفين قطر مقطعه حوالي 2سم.

(2) ثبت أحد طرفيه رأسياً على صندوق رنين بواسطة شمع الختم شكل (49).

(3) إملأ الأنبوبة بالماء ثم اطرق شوكة رنانة وإغمس قاعدتها في الماء فتنتقل الاهتـزازات خلال المـاء إلى صندوق الرنين ويسمـع صوت واضح في أرجاء الغرفة.



شكل (49)

تعيين سرعة الصوت في الماء:

أجرى العالمان كولادون Calladon وستيرم Stiurm سنة 1826 م التجربة الآتية ليلاً في بحيرة جنيفا بسويسرا لإيجاد سرعة الصوت في الماء كالآتي:

(1) استخدم لهذا الغرض قاربين أ ، ب المسافة بينهما 13.5 كيلو متر .

(2) أدليا من القارب الأول (أ) بوقا كبيرا تحت سطح الماء وعلى فوهته غشاء مرن مشدود كي يستقبل اهتزازات الماء الناتجة عن الصوت .وأدلى من القارب الثاني (ب) ناقوسا ومطرقة لقرع الناقوس وعلى سطح القارب (ب) كمية من البارود يمكن استعمالها . وكل من المطرقة وفتيل الأشعال يتحركان بواسطة رافعة.

(3) يدفع شخص الرافعة فوق القارب «ب» بحيث أنه في اللحظة التي تطرق المطرقة الناقوس تحت الماء مصدرة صوتاً يصل الفتيل إلى كومة البارود الذي يشتغل بلهب كبير واضح.

(4) على القارب الآخر (أ) يضع شخصاً آخر أذنه على فوهة البوق ليستقبل الصوت مصوباً نظره نحو القارب ليرى الوميض الناتج عن اشتعال البارود ثم يجد الزمن بين الوميض وسماع صوت المطرقة خلال الماء باستعمال ساعة إيقاف وهذا يساوي الزمن الذي استغرقه الصوت في قطع المسافة بين القاربين أ،ب خلال الماء.

(5) ويمكن حساب سرعة الصوت في الماء كالتالي:

$$\text{سرعة الصوت في الماء} = \frac{\text{المسافة بين المحطتين}}{\text{زمن قطع الصوت لهذه المسافة}}$$

هنا يهمل الزمن الذي استغرقه الضوء في قطع المسافة بين القاربين لأنه صغيراً جداً.

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} \quad \text{أي زمن قطع الضوء لهذه المسافة} = \frac{13.5}{\text{سرعة الضوء}}$$

$$= \frac{13.5}{300.000} \text{ ثانية}$$

وقد وجد بعد القيام بنفس التجربة عدة مرات أن سرعة الصوت في الماء تساوي 1435م/ث في درجة حرارة 8.1°م

∴ سرعة الصوت في الماء = 4 أمثال سرعة الصوت في الهواء تقريباً.

مثال (1)

أحسب سرعة الصوت في الماء إذا علمت أن المسافة بين القاربين آ،ب 35900 متراً، وأن الزمن بين رؤية لهب البارود وسماع الصوت في البوق 25 ثانية.

الحل

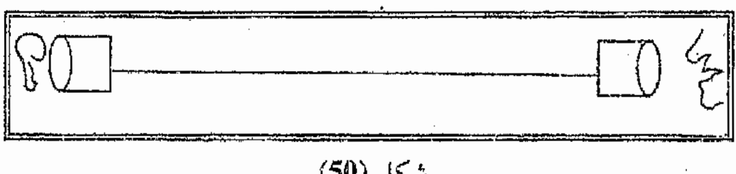
$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} = \frac{35900}{25} = 1436 \text{ م / ثانية}$$

انتقال الصوت في الأجسام الصلبة :

انتقال الصوت في الأجسام الصلبة شيء مألوف في الحياة ويمكن التحقق من ذلك بإجراء التجارب البسيطة التالية:

تجربة (1):

خذ سلكاً أو خيطاً بطول مناسب وعلبتين صغيرتين مفتوحتين من جهة واحدة يربط طرفي الخيط أو السلك بشكل عقدة في ثقب في قاع العلبتين كما في شكل (50) فعندما يتكلم شخص في إحدى العلبتين وذلك عندما يكون السلك الواصل بين العلبتين مشدوداً نجد أن الشخص الآخر عند العلبة الأخرى يسمع وذلك ويضع أذنه على الجهة المفتوحة للعلبة الأخرى، وهكذا نجد أن الصوت انتقل في الجسم الصلب (السلك).



شكل (50)

تجربة (2)

ضع ساعة صغيرة على لوح خشبي وابتعد عنه مسافة معينة بحيث لا تعود تسمع دقاتها ثم ضع أذنك على لوح الخشب على نفس البعد من الساعة تسمع دقاتها بوضوح.

تجربة (3)

ضع الأجزاء المعدنية للساعة بين أسنانك وأغلق إذنيك كي لا ينتقل الصوت عبر الهواء إلى أذنك تجد أنك لا تزال تسمع دقات الساعة بوضوح وذلك لانتقال الصوت عبر عظام الأسنان إلى الأذن الداخلية.

تجربة (4)

خذ قضيباً معدنياً طويلاً وأجعل صديقك يحط طرف القضيب البعيد بمادة صلبة بحيث لا يسمع الصوت الناتج عبر الهواء ولكن لو وضعت أذنك على طرف القضيب حتى لامسته تسمع الصوت بوضوح وهذا يدل على انتقال الصوت في المادة الصلبة أسرع منه في الهواء.

تعيين سرعة الصوت في مادة صلبة :

أجرى العالم بيوت Biot تجربة تعتمد على أن سرعة الصوت في الأجسام الصلبة أكبر من سرعته في الأجسام السائلة أو الغازية على النحو التالي:

(1) يطرق شخص أحد طرفي أنبوبة معدنية طويلة طرقة واحد فيسمع بذلك شخص آخر عند الطرف الثاني للأنبوبة طرقتين: الأولى ناتجة من انتقال الصوت خلال مادة الأنبوبة، والثانية ناتجة من انتقال الصوت خلال الهواء.

(2) بحساب الزمن الفاصل بين الطرقتين المسموعتين عند الطرف الثاني للإنبوبة يمكن حساب سرعة الصوت في مادة الأنبوبة كما يلي:

زمن انتقال الصوت في الهواء- زمن انتقال الصوت في مادة الأنبوبة.

$$\text{الزمن الفاصل بين الطرقتين} = \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في الهواء}} - \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في مادة الأنبوبة}}$$

مثال (1)

طرقت أنبوبة معدنية طولها 800 متراً فسمعت طرقتان عند طرفها الثاني وكانت الفترة الزمنية بينهما 2.25 ثانية، فإذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء 320م/ث فاحسب سرعة الصوت في مادة الأنبوبة.

الحل

$$\text{الزمن الفاصل بين الطرقتين} = \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في الهواء}} - \frac{\text{طول الأنبوبة}}{\text{سرعة الصوت في مادة الأنبوبة}}$$

$$2.25 = \frac{800}{320} - \frac{800}{ع}$$

$$\therefore \frac{800}{ع} = 0.25 \quad \therefore ع = 3200 \text{ م/ث.}$$

مقارنة سرعة الصوت في الهواء، السوائل والمواد الصلبة

إن سرعة الصوت تختلف من غاز لآخر وتختلف أيضاً من سائل لآخر كما تختلف أيضاً في المواد الصلبة من مادة إلى أخرى ولكن وبصورة عامة يعتبر انتقال الصوت في المواد الصلبة أسرع بكثير من انتقاله في المواد السائلة والغازية.

$$\text{شدة الإستضاءة} = \frac{\text{الفيض الضوئي}}{\text{المساحة}}$$

وإذا قيس الفيض الضوئي باللليومن والمساحة بالأمتار المربعة فإن شدة الاستضاءة ستكون عندئذ الليومن لكل متر مربع.

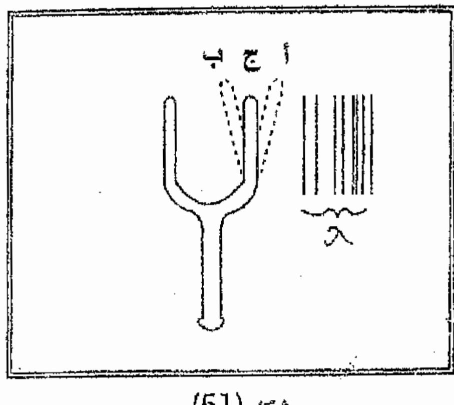
والجدول التالي يبين سرعة الصوت في مواد صلبة مختلفة وفي درجات حرارة معينة:

الوسط	سرعة الصوت متر/ثانية	درجة الحرارة
النحاس	3560	20°م
الحديد	5130	20°م
النيكل	4970	20°م
الألمنيوم	5100	20°م
الفضة	2680	20°م

العلاقة بين سرعة الصوت وتردده وطول موجته :

عند اهتزاز فرع الشوكة الرنانة من (أ) إلى (ب) تحدث نبضة تضاغط في طبقة الهواء الملامسة للفرع وعند اهتزاز فرع الشوكة من (ب) إلى (أ) تحدث نبضة تخلخل في طبقة الهواء الملامسة للفرع أي عندما يتم فرع الشوكة اهتزازه كاملة يحدث في الوسط موجة صوتية كاملة (λ) شكل (115).

(1) من ذلك نستنتج بأن عدد الموجات الصوتية الحادثة في الوسط= عدد الاهتزازات التي يعملها مصدر الصوت.



شكل (51)

(2) فإذا اهتزت الشوكة عدداً من الاهتزازات مساوياً «ت» اهتزازة في زمن قدره ثانية واحدة فإنها ستحدث عدداً من الموجات الصوتية الكاملة مساوياً «ت» موجة.

∴ المسافة التي ستقطعها هذه الموجات في الثانية=

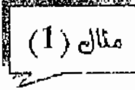
عدد الموجات في الثانية الواحدة× طول الموجة الواحدة.

$$ع = ت \times \lambda$$

وبما ان سرعة الصوت في الوسط ما تقدر بالمسافة التي تقطعها الموجات الصوتية في الثانية وتردد الصوت= عدد الموجات الصوتية الحادثة في الثانية الواحدة.

∴ سرعة الصوت= تردد الصوت× الطول الموجي

$ع= \lambda \times ت$.



إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 320 متراً/ ثانية، فما طول الموجة الصوتية التي تحدثه في الهواء عند اهتزاز شوكة ترددها 320 ذبذبة/ ثانية.

$\therefore$ ع = λ × ت.

$$\therefore \lambda = \frac{ع}{ت} = \frac{320}{320} = 1 \text{ متر}$$

ظاهرة دوبلر:

عندما يكون مصدر الموجة (صوت، ضوء) والكاشف عنه (مستمع، مشاهد) في حركة أو أن أحدهما متحرك والآخر ثابت أو كلاهما متحركين فإن الحركة النسبية بين المصدر والمستمع أو المشاهد تحدث تعديلاً لنمط الموجات (صوتية أو ضوئية) ويعزى اختلاف نمط أو درجة الصوت أو الضوء هذا إلى اختلاف عدد الموجات.التي تصل أذن السامع أو عين المشاهد في وحدة الزمن عندما تحدث الحركة، أي تحدث تغييراً في تردد الموجات يسمى التردد (الصوتي أو الضوئي) الذي يصل أذن السامع أو عين المشاهد بالتردد الظاهري لأنه يختلف عن التردد الحقيقي.

وفي الصوت يرجع سبب هذا التغيير في تردد النغمة (الصوت) إلا أن الموجات الصوتية التي يخرجها المصدر المتحرك تصبح أكثر ازدحاماً أمامه في حين تصبح أقل ازدحاماً خلفه، ومعنى ذلك أن طول الموجه الصوتية أمام المصدر يصبح أقل من حقيقته، أما خلف المصدر فيصبح طول الموجة اطول لذلك فإن المستمع الذي يتحرك المصدر نحوه يسمع نغمة ذات تردد أعلى من حقيقتها، فإذا ما تعداه المصدر فإنه يسمع نغمة ذات تردد أقل.

وأول من لاحظ تأثير الحركة على درجة الصوت (أو التغير في تردد النغمة) عالم نمساوي يدعى «دوبلر» ولذلك سميت هذه الظاهرة «بظاهرة دوبلر» وإليك هنا مقارنة بين التردد الحقيقي والتردد الظاهري في ثلاث حالات.

(1) عندما يكون المصدر متحركاً والمستمع ساكناً (ثابتاً):

(أ) السامع ثابت والمصدر يقترب منه بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي.

(ب) السامع ثابت والمصدر يبتعد عنه بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي.

(2) عندما يكون المصدر ثابتاً والمستمع متحركاً:

(أ) المصدر ثابت والسامع يقترب منه بسرعة ثابتة : التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي .

(ب) المصدر ثابت والسامع يبتعد عنه بسرعة ثابتة : التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي .

(3) عندما يتحرك المصدر والمستمع معاً:

(أ) المصدر والسامع يقتربان بعضهما من بعض بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي.

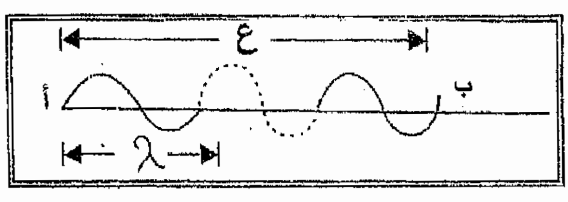
(ب) المصدر والسامع ثابت والمصدر يبتعدان بعضهما عن بعض بسرعة ثابتة: التردد الظاهري أصغر من التردد الحقيقي.

سيقتصر الشرح على إحدى الحالات التي تحدث فيها الظاهرة وهي الحالة التي يكون فيها مصدر الصوت متحركاً بسرعة ثابتة والمستمع ثابت في مكانه.

عندما يكون الصوت متحركاً والمستمع ثابتاً :

مقدمة: المصدر والسامع ثابتين:

في شكل (52-أ) والذي يمثل رسم بياني لانتشار الموجات الصوتية من (أ) إلى (ب) نفرض مصدر الصوت ثابت في الموقع (أ) والمستمع ثابت في الموقع (ب) وأن (أ) (ب) هي المسافة التي يقطعها الصوت في زمن قدره ثانية واحدة.



شكل (52-أ)

فإذا كانت سرعة الصوت=ع، تردد الصوت= ت الطول الموجي= λ

∴ المسافة (أ ب) التي يقطعها الصوت في الثانية الواحدة

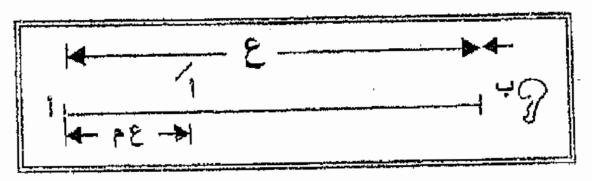
= عدد الموجات في الثانية × طول الموجة الواحدة.

= تردد الصوت × الطول الموجي.

أي ع= ت × λ

أي بعد زمن قدره ثانية واحدة ستصل أول موجه انبعثت من المصدر إلى الموقع (ب) وستكون آخر موجه إنبعثت عند الموقع (أ)، أي أن عدد الموجات التي انبعثت في الثانية الواحدة شغلت المسافة (أب).

(أ) السامع ثابت ومصدر الصوت يقترب منه بسرعة ثابتة:



شكل (52-ب)

إضافة إلى المعطيات السابقة في المقدمة، نفرض الآن أن سرعة المصدر ع م فبعد ثانية واحدة سيقطع المصدر مسافة قدرها ع م حتى يصل إلى الموقع (أ) شكل (52-ب) وفي نفس اللحظة تصل أول موجه- انبعثت من المصدر إلى الموقع«ب» وستكون آخر موجه انبعثت عند المصدر في الموقع (أ) وبما أن تردد الصوت «ت»، إذن عدد الموجات «ت» الصادرة في الثانية الواحدة ستشغل المسافة (أب) والتي تساوي المقدار (ع-ع م)

في هذه الحالة تتزاحم الموجات الصوتية أمام المصدر وتقل طول الموجه.

أي بما أن أ ب = ع-ع م، وعدد الموجات في الثانية= تردد الصوت= ت

∴ طول الموجة تصبح= $\frac{ع - ع_م}{ت} = \lambda$

فيتكون بذلك تردد ظاهري للصوت وبما أن المسافة التي قطعها الصوت في الثانية =ع.

∴ التردد الظاهري للصوت= $\frac{ع}{\lambda}$ = ت´

بتعويض قيمة λ من المعادلة (1) في المعادلة (2) ينتج أن:

التردد الظاهري= $\frac{ع}{ع - ع_م} \times$ ت

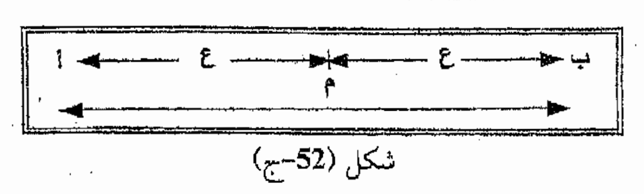
أي أن

$$ت´ = \frac{ع \times ت}{ع - ع_م} = \frac{\text{سرعة الصوت} \times \text{تردد المصدر}}{\text{مصدر الصوت} - \text{سرعة المصدر}}$$

ونستنتج في هذه الحالة أن التردد الظاهري للصوت أكبر من التردد الحقيقي للصوت.

ب) السامع ثابت ومصدر الصوت يبتعد عنه بسرعة ثابتة:

إضافة إلى المعطيات السابقة في المقدمة، نفرض أن سرعة المصدر ع م ويتحرك بعيداً عن السامع.



شكل (52-ج)

فبعد ثانية واحدة سيقطع المصدر مسافة قدرها ع م حتى يصل الموقع (أ) شكل (52-ج) وفي نفس اللحظة تصل أول موجة انبعثت من المصدر إلى السامع في الموقع«ب» وستكون آخر موجة انبعثت عند المصدر في الموقع (أ) وبما ان تردد الصوت «ت» إذن عدد الموجات «ت» الصادرة في الثانية ستشغل المسافة (أب) والتي تساوي المقدار (ع ع + م).

في هذه الحالة تتخلخل الموجات الصوتية خلف المصدر وتكبر الطول الموجي.

أي بما أن أ ب=ع + ع م، عدد الموجات في الثانية= تردد الصوت= ت.

طول الموجة تصبح= $\frac{ع + ع_م}{ت} = \lambda'$ (1)

فيتكون بذلك تردد ظاهري للصوت وبما أن المسافة التي قطعها الصوت ع.

∴ التردد الظاهري للصوت= $\frac{ع}{\lambda'} = \acute{ت}$ (2)

بتعويض قيمة λ' من المعادلة (1) في المعادلة (2) ينتج أن:

التردد الظاهري ت = $\frac{ع}{ع + ع_م} \times ت$

أي ان:

$\acute{ت} = \frac{ع \times ت}{ع - ع_م} = \frac{\text{سرعة الصوت} \times \text{تردد المصدر}}{\text{مصدر الصوت} - \text{سرعة المصدر}}$

ونستنتج من ذلك ان التردد الظاهري للصوت أقل من التردد الحقيقي للصوت ولذا تكون العلاقة بين التردد الظاهري والتردد الحقيقي لنغمة متحركة بعيداً أو لحو مستمع ساكن على الترتيب هي:

$$ت' = \frac{ع \times ت}{ع \pm ع_م}$$

وهذه العلاقة صحيحة متى ما كان الوسط (الهواء) ساكناً.

أما إذا كان الوسط متحركاً بأن تهب فيه رياح سرعتها ع ر في الاتجاه من المصدر إلى السامع فإن سرعة الصوت تزداد ظاهراً من ع إلى (ع+ع ر).

$$\therefore ت' = \frac{(ع - ع_ر) \times ت}{(ع - ع_ر) \pm ع_م}$$

أما إذا كان اتجاه الرياح من المستمع إلى المصدر فإن.

$$ت' = \frac{(ع - ع_ر) \times ت}{(ع - ع_ر) \pm ع_م}$$

استخدامات وفوائد ظاهرة دوبلر

(1) بمعرفة تغيير دوبلر للتردد في جهاز رادار شرطة المرور وبواسطة انعكاس الموجات من سيارة متحركة يمكن حساب سرعة تلك السيارة المتحركة.

(2) من التطبيقات المهمة لظاهرة دوبلر هو معرفة سرعة الطائرات والنجوم كما ان هذه الظاهرة لها تطبيقات في بحوث فلكية عديدة فطيف أي نجم يتكون من خطوط لامعة وأخرى معتمة (كطيف الشمس مثلاً)، عندما تكون حركة النجم في اقتراب من الأرض يكون تغيير دوبلر الظاهري للتردد في اتجاه اللون البنفسجي لطيف الضوء ولكن عندما تكون حركة النجم في ابتعاد عن الأرض يكون تغيير دوبلر الظاهري للتردد في اللون الأحمر لطيف الضوء بمعرفة هذا التغيير في الطيف يمكن للفرد أن يحسب سرعة النجم.

ولظاهرة دوبلر فوائد في الضوء أكثر من الصوت وكذلك في دراسة النظرية النسبية.

مثال (1)

(1) سيارة تقترب منك بسرعة قدرها 30م/ث وتصدر نغمة من آلة التنبيه ترددها 680ذ/ث (هيرتز) احسب التردد الظاهري للنغمة التي تسمعها علماً بأن سرعة الصوت في الهواء 330م/ث.

الحل

∵ السامع ثابتا ومصدر الصوت يقترب منه بسرعة ثابتة .

∴ التردد الظاهري (تَ) = $\frac{ع \times ت}{ع - ع_م}$ = $\frac{330 \times 680}{330 - 30}$ = 748 ذ / ث

(2) سيارة تبتعد عنك بسرعة قدرها 25م/ث تصدر نغمة ترددها 600 ذ/ث (هرتز) فإذا كان التردد الظاهري للنغمة التي تسمعها 550 ذ/ث، فأحسب سرعة الصوت في الهواء.

الحل

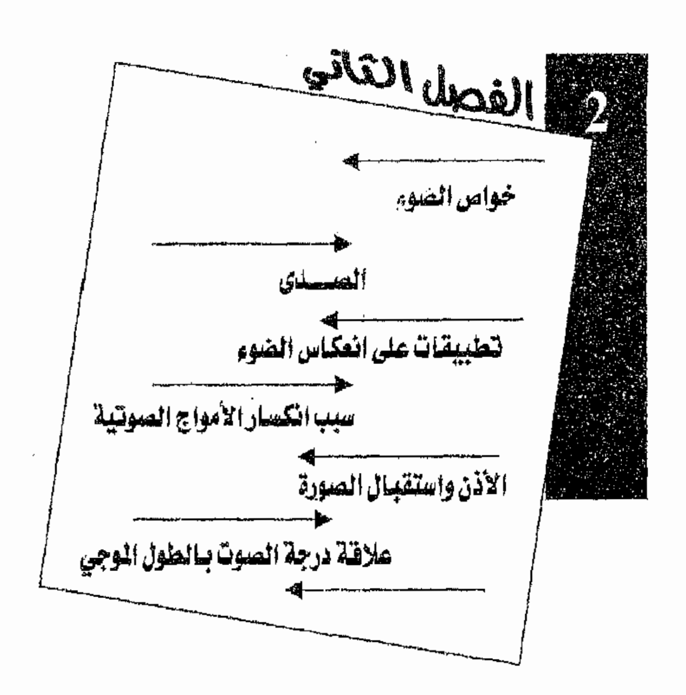
∵ السامع ثابت ومصدر الصوت يبتعد عنه بسرعة ثابتة

∴ التردد الظاهري (تَ)= $\frac{ع \times ت}{ع - ع_م}$

550ع + 13750 = 600ع

50ع = 13750

ع = 275م/ث.


2
الفصل الثاني
خواص الضوء
الصـــدى
تطبيقات على انعكاس الضوء
سبب انكسار الأمواج الصوتية
الأذن واستقبال الصورة
علاقة درجة الصوت بالطول الموجي

الفصل الثاني

خواص الصــوت

(1) مقارنة سرعة الصوت مع سرعة الضوء:

يحتاج الصوت إلى زمن معين كي يقطع مسافة معين، إذن للصوت سرعة محدودة وقد مر معنا أن:

$$ع = ت \times \lambda$$

كذلك للضوء سرعة محدودة تبلغ 300000 كيلومتر/ ثانية، وهذه سرعة كبيرة جداً إذا قورنت بسرعة الصوت في الهواء التي تبلغ حوالي 332متر/ ثانية أي حوالي $\frac{1}{3}$ كم/ث في درجة الصفر المئوي.

والأمثلة التالية توضح الفرق بين سرعتي الصوت والضوء.

الأمثلة

نرى وميض انفجار البارود من مسافة معينة قبل سماع صوت الانفجار، ونسمع صوت الرعد كذلك بعد رؤيتنا وميض البرق بزمن معين.

حساب بعد السحب التي يحدث فيها البرق عن الأرض:

إن وميض البرق والصوت الناتج منه (الرعد يحدثان في نفس الوقت، إلا أن الضوء يقطع المسافة إلى الأرض في زمن صغير جداً يمكن إهماله نظراً لكبر سرعته بينما يأخذ الصوت زمن أطول مقارنة بزمن وصول الضوء.

ولحساب المسافة (ف) للسحب التي حدث فيها البرق يمكننا اتباع الخطوات التالية:

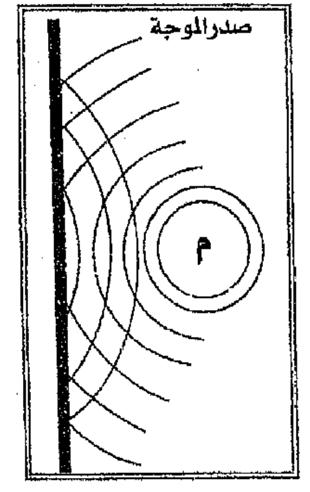
(1) حساب الزمن (ز) بين رؤية وميض البرق وسماع صوت الرعد باستخدام ساعة إيقاف.

(2) بمعرفة سرعة الصوت «ع».

∴ المسافة (ف)= سرعة الصوت× الزمن بين رؤية وميض البرق وسماع صوت الرعد = سرعة الصوت× الزمن الذي استغرقه الصوت.

أي ف=ع×ز.

(2) انعكاس الصوت:



تنتشر الأمواج الصوتية في الهواء في جميع الجهات على شكل كرات مركزها مصدر الصوت وعندما تصادف هذه الأمواج الكروية سطحاً مستوياً عاكساً تنعكس عنه بشكل كرات أيضاً وتظهر الأمواج المنعكسة الكروية وكان مركزها خلف الحاجز (المستوى العاكس) في نقطة تبعد عن الحاجز بمقدار بعد مصدر الصوت عنه.

يبين الشكل (53) مصدراً «م» تنتشر منه الأمواج الصوتية بشكل كرات، ويسمى سطح كل كرة يتألف من دقائق تتحرك بكيفية واحدة بمقدمة الموجة (أو ر الموجه)، كما يسمى اتجاه الموجه شعاعاً صوتياً وعندما تصل الأمواج الصوتية السطح العاكس «أ ب» تنعكس عنه بشكل كروي أيضاً وتظهر الأمواج المنعكسة الكروية وكان مركزها نقطة «م» التي تبعد عن الحاجز (أ ب) نفس بعد المصدر الصوتي «م» عن الحاجز نفسه.

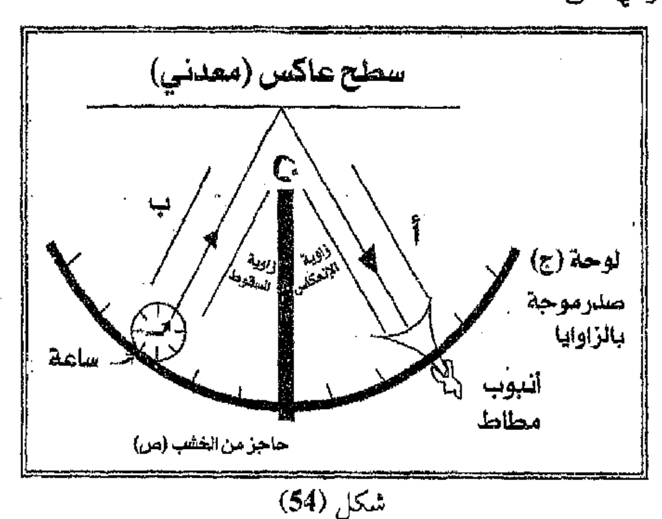
الصـوت كمـا يـنعكس الضـوء تماماً، ولذلك تخضع الأمواج الصوتية في انعكاسها لقانوني الانعكاس المعروفين اللذين تخضـع لهـما موجـات الضوء والحرارة أي أن:

(1) زاوية السقوط= زاوية الإنعكاس.

(2) الشعاع السـاقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على سطح العاكس من نقطة لانعكـاس كـلها تقـع في مستوى واحـد عمـودي على السطح العاكس والتجربة التالية تثبت أن الصوت يخضع في انعكاسه لهذين القانونين.

تجربـة:

(1) خـذ انـبوبين طولـين؟ (أ،ب) كمـا في الشـكل (54) يمكن إدارتها على لوحة (ن) مدرجـة بالـزوايا وينـتهي طـرف الانبويـتين على السطح العاكس الموضوع بشكل عمودي على منضدة.



شكل (54)

(2) ضع ساعة بالقرب من نهاية الطرف الثاني للأنبوب (ب)، وصل نهاية الطرف الثاني للأنبوب (أ) قمع وفي نهاية القمع أنبوب مطاطي يمكن إدخاله في الأذن لسماع الصوت المنعكس.

(3) ضع حاجزاً كبيراً (ص) من الخشب أو أية مادة تمتص الصوت بشكل عمودي على المنضدة بين الأنبوبين (أ،ب) وذلك كي يمنع انتقال الصوت مباشرة من الساعة إلى اذن السامع.

(4) حرك الأنبوب (أ) على اللوحة المدرجة حتى تسمع صوت دقات الساعة المنعكس على السطح العاكس أوضح ما يمكن.

(5) كما هو موضح في الشكل (118) أقرأ الزاويتين (ب ن ص) و (أ ن ص) تجد أنهما متساويتان وهذا يثبت أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس (القانون الأول).

(6) اجعل السطح العاكس يميل على مستواه العمودي تجد أن الصوت يضعف ثم يتلاشى، وهذا يثبت (القانون الثاني للإنعكاس).

الصدى

عندما تقابل الأمواج الصوتية سطحاً كبيراً فإنها تنعكس عنه، فإذا كان السطح العاكس بعيداً بحيث وصلت الأمواج المنعكسة إلى الأذن بعد زوال تأثير الصوت الأصلي يسمى الصوت المنعكس صدى، إذن فالصدى تكرار للصوت الأصلي يحدث نتيجة لإنعكاس الأمواج الصوتية ويسمع بوضوح بعد زوال الصوت الأصلي من الأذن.

أما إذا كانت السطوح العاكسة قريبة من بعضها فإن الأصداء الناتجة لا تسمع كأصوات منفصلة بل تسمع و كأنها استمرار للصوت الأصلي . وعلى هذا الأساس فإن

صـوت الـرعد ينعكس انعكاسات متعددة عند السحاب ويتصل بصوت الرعد الأصلي فتسمع قعقعة الرعد لفترة من الزمن .

تبقى أذن الإنسان متأثرة بالصوت لمدة ثانية ، بعد وصول الصوت إليها.

فإذا كانت سرعة الصوت 340 متر / ثانية .

∴ المسافة التي يقطعها الصوت في هذا الزمن $\frac{1}{10}$ (ثانية) =

= $\frac{1}{10} \times 340 = 34$ متر

وفي حالـة انعكـاس الصـوت (الصـدى) إذا قطع الصوت هذه المسافة ذهابا وإيابا فهـذا يعـني أن الحاجـز أو السـطح العـاكس موجود على بعد 17 متر أي أن المسفة التي قطعهـا الصـوت ذهابا تبلغ 17 متر ، وهي أقل مسافة تحدث فيها الصدى وبدون انقطاع الصوت الأصلي .

أمـا إذا كـان بعـد السـطح العـاكس (العـائق أو الحاجـز) أكبر من 17 متراً فيصل الصوت المنعكس (الصدى) إلى الأذن منفصلا بعد زوال تأثير الصوت الأصلي وإذا كان بعـد السـطح العـاكس (الحاجـز) أقل من 17 متر فيصل الصوت المنعكس (الصدى)إلى الأذن قبل زوال تأثير الصوت الأصلي ويختلط به فلا يكون الصوت واضحا في تفاصيله

لا يعتـبر هـذا البعد (17 مـتراً) ثابـتا بـل يعـتمد عـلى سـرعة الصـوت فـإذا كـانت سـرعة الصـوت 360 مـتراً / ثانيـة لوجـب أن يكـون أقـل بعـد للسـطح العاكس ذهاباً $360 \times \frac{1}{10} = 36$ متراً أو $\frac{36}{2} = 18$ متراً ذهاباً وإياباً .

إذا كان الصوت الأصلي طويل الأمد أي يستغرق زمنا محسوسا في حدوثه.

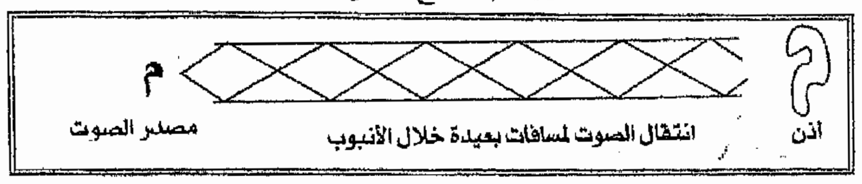
مـثلا يستغرق صوت مقطع كلمة حولي $\frac{1}{5}$ ثانية فتبقى الأذن في هذه الحالة متأثرة بالصـوت الأصلي مدة $\frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$ ثانية ، وإذا كان سرعة الصوت 340 م/ث

وجب أن يكون أقل بعد للسطح العاكس ذهابا وإيابا 3/ 10 *340 =1.2 متر . أي أن أقل بعد للسطح العاكس 51 مترا ذهابا .

أما إذا كان بعد السطح العاكس في هذه الحالة أقل من ذلك فأن الصوت المنعكس يختلط بالصوت الأصلي قبل زوال تأثيره من الأذن فلا تستطيع الأذن التمييز بينهما.

تطبيقات على انعكاس الصوت:

(1) يمكن أن تنعكس الأمواج الصوتية داخل أنبوب انعكاسات متكررة شكل (55)، وبذلك تحفظ الطاقة الصوتية من الضياع ويصل الصوت إلى مكان بعيد.



شكل (55)

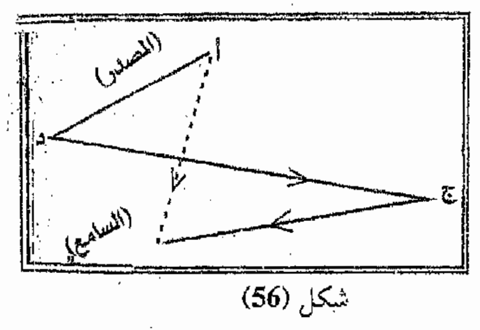
(2) يستخدم انعكاس الصوت في تعيين سرعة الصوت في الهواء فإذا فرضنا أنك تسمع صدى صوتك بعد عشر ثوان من إصداره نتيجة لانعكاسه عند جبل يبعد عنك 1700 متراً ويحسب الصوت كالتالي:

بعد الجبل= 1700متر، زمن ذهاب وإياب الصوت=10 ثوان.

∴ زمن ذهاب الصوت= 5ثواني ∴ ع= $\frac{1700}{5}$ = 340 متراً / ثانية.

(3) في قاعات المحاضرات والأندية والسينما واستديوهات محطات الإذاعة يحدث انعكاسات متكررة للصوت فتشوش على السامع لأنها تختلط مع الصوت الذي يصل مباشرة إلى السامع، كما هو موضح في الشكل (56) عندما يتكلم الشخص (أ) يسمع (د) الصوت عن طريق مباشر وهنالك طرق يعاني فيها الصوت عدة انعكاسات متكررة من جدران الغرفة فالطريق المباشر ا لذي يصل فيه الصوت إلى

(د)هـو (أد) وأحـد الطرق الكثيرة غير المباشر هو أ ب ج د، فعندما يكون (د) قد سمـع المقطـع الأول من الكلمة، وبدأ في سماع المقطع الثاني بالطريق المباشر (أد) يصـل المقطـع الأول عن طريق الإنعكاسات المتكررة، (أ ب ج د) وبذلك يشوش عـلى سمـاع المقطـع الـثاني وهكـذا تختلط المقـاطع ويكـون الكـلام غير واضح ومشوشاً.

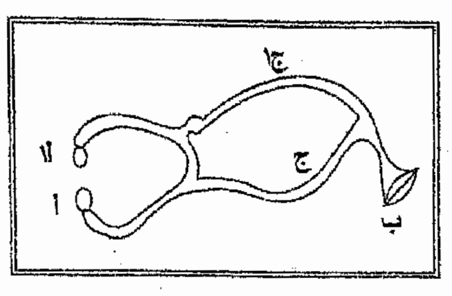


شكل (56)

(4) يسـتعمل الـبوق لـتقوية الصـوت وذلـك بـان يتكلم الشخص في الفتحة الصغيرة فتنحصـر الطاقـة الصـوتية داخـل الـبوق وتـتجه إلى جهـة واحـد فقـط بسـبب الانعكاسات المتكررة داخل البوق، بدل من أن تتوزع في جميع الجهات، وتهتز كمية الهواء الموجودة في داخل البوق اهتزازاً شديداً مما يزيد من شدة الصوت.

(5) سماعة الطبيب:

تسـتعمل لفحـص ضـربات القلـب وصـفاء حـركة التنفس ويوضع طرفاها (أ-أً) المعدنـيان في أذنـي الطبيـب، شـكل (57) (ج جً) انبوبان من المطاط يتصلان ببوق (ب) علـيه غشـاء معدنـي رقيق، الذي يهتز نتيجة ضربات القلب، ويتجمع الصوت في البوق (ب) ويـنعكس إلى الداخـل انعكاسات متكررة حتى يصل الطرفين (أ-أً) حيث المساحة صغيرة وتزداد بذلك شدة الصوت وتسمع دقات القلب بوضوح.

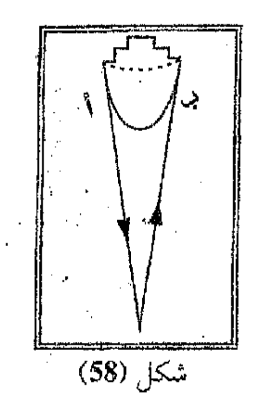


شكل (57)

(6) تقاس المسافات باستخدام ظاهرة الصدى حيث يصدر صوت قصير الأمد، ثم نسمع الصدى المنعكس عن السطح المراد قياس بعده ونقيس الزمن المحصور بين اصدار الصوت واستقبال الصدى فيكون هو الزمن الذي استغرقه الصوت حتى وصل إلى السطح العاكس ورجع إلى نفس مكان صدور الصوت فبذلك يكون الزمن الذي استغرقه الصوت حتى وصل إلى السطح العاكس مساوياً لنصف المقاس، ويضربه في سرعة الصوت (وقت إجراء التجربة) ينتج بعد السطح العاكس.

أي ف= $\frac{ز}{2}$ × ع

حيث ف= بعد السطح العاكس، ز= زمن ذهاب وإياب الصوت، ع= سرعة الصوت وهكذا يقاس عمق الأبار العميقة، وبعد الجبال. وتستفيد السفن من هذه الظاهرة لمعرفة بعد الحواجز الجليدية وغيرها خصوصاً عندما يكثر الضباب فتتجنب الأخطار، كذلك يمكن قياس عمق البحار بهذه الطريقة ويستخدم لذلك جهاز مرتبط بالسفينة شكل (58) ومغمور في الماء، وبه جهاز إرسال (أ) يرسل أصوات قصيرة الأمد فتنزل إلى قاع البحر ثم تنعكس إلى أعلى، ويستقبلها جهاز استقبال (ب) يسمى هيدروفون (Hydrophone) ويمكن حساب العمق أوالبعد بنفس الطريقة المذكورة سابقاً، عمق البحر= ½ الزمن (ذهاب وإياب) × سرعة الصوت في الماء.

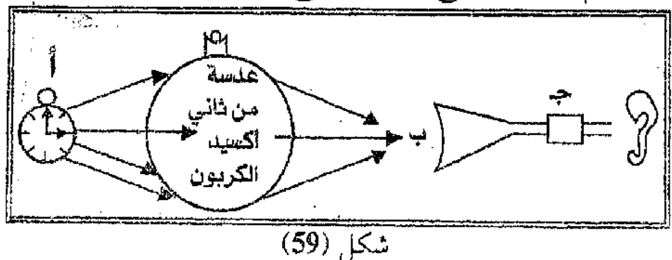


شكل (58)

(3) انكسار الصوت:

عندما يصادف الصوت وسطا يختلف في الكثافة عن الوسط الذي يسير فيه، تنكسر الأمواج الصوتية تماماً كما يحدث للأمواج الضوئية وإثبات ذلك من خلال التجربة التالية:

خذ بالوناً من المطاط الرقيق وأملأه بغاز ثاني أكسيد الكربون (وهو أكثف من الهواء) ضع ساعة جيب (أ) كما في الشكل (59) في أحد جهتي البالون ثم حاول أن تقرب القمع (ج) المتصل بالأذن من الجهة الأخرى للبالون، تجد أن الصوت يسمع أوضح ما يمكن في نقطة واحدة فقط مثل (ب)، مما يدل على أن الصوت قد أنكسر خلال مروره بعدسة (بالون فيه ثاني أوكسيد الكربون) وأنها عملت على عمل العدسة المحدبة في الضوء، ولو لم تنكسر الأمواج الصوتية لسمع صوت الساعة في عدة نقاط غير (ب).

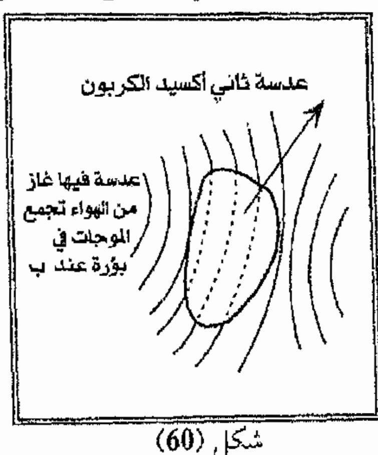


شكل (59)

أما لو ملأنا البالون بغاز أخف من الهواء كالهيدروجين، مثلاً فإن الصوت ينكسر متفرقاً ولا يتجمع في نقطة مثل (ب) وتعمل عدسة الهيدروجين عمل العدسة المقعرة في الضوء.

سبب انكسار الأمواج الصوتية

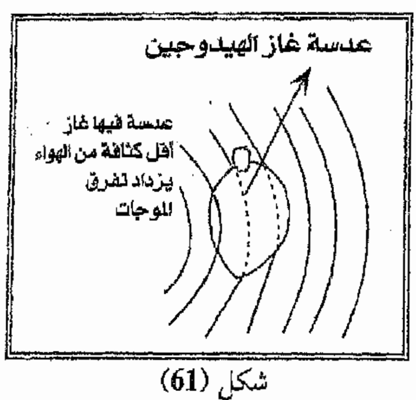
سبب انكسار الأمواج الصوتية خلال مرورها بغاز ثاني أكسيد الكربون هو اختلاف سرعة الصوت فيه عن سرعته في الهواء، حيث أن سرعة الصوت في ثاني أكسيد الكربون أقل منها في الهواء، فعندما تدخل مقدمات الموجات الصوتية ثاني أكسيد الكربون فإنها تسير فيه ببطء، بينما تسير اطراف الموجات التي في الهواء بسرعتها العادية، وعندما تخرج مقدمات الأمواج الصوتية من العدسة تكون أطراف الأمواج في الهواء قد سبقتها بمسافة كبيرة وبذلك ينعكس تحدب مقدمة (صدر) الموجة، كما هو مبين في الشكل (60) وتظهر وكأن مركزها النقطة التي ستتجمع فيها أمواج الصوت المنكسرة.



شكل (60)

تمريـن

علـل كـيف تعمـل عدسـة غـاز الهـيدروجين في الصـوت عمل العدسة المقعرة في الضوء، لاحظ الشكل (61).



شكل (61)

ملاحظة:

إن الأمـواج الصـوتية لا تنكسـر بوضـوح عـند انتقالها من وسط إلى آخر فإذا كان الفرق بين سرعتي الصوت في الوسطين فرقاً صغيراً ولذلك فإن الأصوات نادرة في الهواء تكـون غـير مسـموعة تقريـباً لشخص سابح تحت الماء، ويرجع إلى أن الفرق بين سرعتي الصـوت في الوسطين (الهواء، الماء) كبيراً، وهذا يؤدي إلى انعكاس معظم الطاقة الصوتية عند سطح الماء، ولا ينفذ منها تحت الماء إلا نسبة ضيئلة جداً.

الاهتزاز المستعرض للأوتـار

نطلـق عـلى أي خـيط أو سـلك مشـدود بـين نقطتين بالوتر وتستخدم الأوتار في الالآت الموسـيقية الوترية كالعود والكمان وغيرها، وتختلف أوتار الآلة الموسيقية الوترية كالعود والكمان وغيرهـا، وتختلف أوتار الآلة الموسيقية الواحدة في مادتها كما قد تختلف في أطوالهـا وأقطارهـا، ونتـيجة لهـذا الاخـتلاف في صفات الأوتار يمكن للآلة أن تصدر

نغماتها وأقطارها، ونتيجة لهذا الاختلاف في صفات الأوتار يمكن للآلة أن تصدر نغماتها الموسيقية المختلفة.

تصنع أوتار الآلات الموسيقية من امعاء بعض الحيوانات أو من أسلاك معدنية كالصلب أو النحاس الأصفر، منتظمة الكثافة والقطر، وينبعث الصوت من الآلة الموسيقية الوترية بطرق مختلفة فقد يكون يتحرك على الوتر كما في الكمان أو بالطرق على الوتر كما في البيانو او بتحريك ريشة مرنه على الوتر كما في العود.

وقد أمكن دراسة الاهتزاز المستعرض للأوتار باستخدام جهاز يسمى الصنومتر.

الأذن واستقبال الصوت:

(1) هي جهاز السمع عند الإنسان ويتركب من ثلاثة أقسام شكل (62) وهي كالتالي:

(أ) الأذن الخارجية.

(أ) الأذن الوسطى.

(جـ) الأذن الداخلية.

(أ) الأذن الخارجية: وتتألف من:

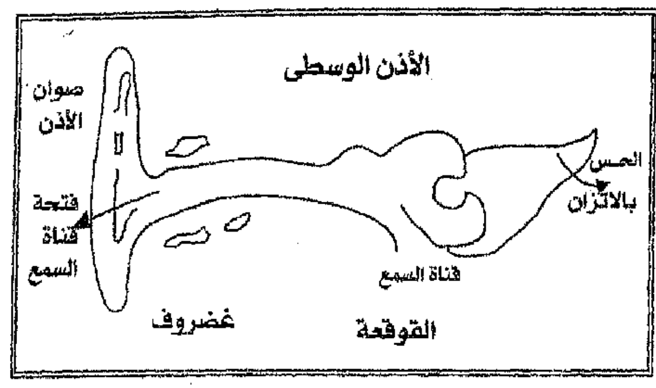
(1) الصيوان: وهو الجزء الغضروفي البارز من الأذن عمله جمع الموجات الصوتية ويشبه البوق.

(2) القناة السمعية: وهي طريق الاتصال بين الصوان والأذن الوسطى وهي تعمل على تجميع الأمواج الصوتية وتركيزها على الطبلة.

(ب) الأذن الوسطى: وتتكون من:

(2) الطبلة: غشاء رقيق وتنتهي به القناة السمعية.

(3) العظيمات الثلاث: وهي المطرقة والسندان والركاب.



شكل (62)

توجد هذه العظيمات خلف الطبلة، فالمطرقة متصلة بالطبلة والسندان ملاصق لجزء من المطرقة والركاب متصل بطرف السندان وفي نفس الوقت يسد فتحة بيضوية الشكل هي مدخل الأذن الداخلية، كما يوجد في طريق اتصال بين الفم والأذن الوسطى قناة تسمى بقناة «استاكيوس» عملها تعديل الضغط على جانبي غشاء الطبلة.

تنتقل الاهتزازات الصوتية من غشاء الطبلة عبر العظميات الثلاث إلى الأذن الداخلية.

(ج) الأذن الداخلية: وهذا القسم معقد التركيب ففيه كثير من القنوات العظيمة والإلتواءات وأشهر هذه القنوات قناة حلزونية تسمى «بالقوقعة».

كيف نسمع الصوت:

تعد الأذن كاشف حساس للصوت كما أنها قادرة على التفريق بين أصوات مختلفة التردد شريطة أن يكون ترددها في مدى معين يسمى مدى السمع يتراوح بين حوالي 20 ذ/ث إلى 20000ذ/ث أو 20 هرتز إلى 20 كيلوهرتز.

عندما تنتشر الأمواج الصوتية في جميع الاتجاهات يقع في قسم منها على الصيوان الذي يعكسها نحو القناة السمعية حيث تسير فيها حتى تسقط على طبلة الأذن فتهتز الطبلة تبعاً لتلك الموجات أي تبعاً للأصوات التي تصلها.

وتنتقل هذه الاهتزازات إلى المطرقة فالسندان ثم الركاب وتهتز لذلك قاعدة الركاب التي هي غشاء يتصل بين الأذن الداخلية، والوسطى وتنتقل هذه الاهتزازات بواسطة سائل إلى أجزاء الأذن الداخلية حتى تنتهي بالقوقعة ومنها إلى أعصاب السمع التي تنتهي من الناحية الأخرى بالدماغ، والذي يدرك حدوث الصوت فيفسره ويميز الأصوات بعضها عن بعض.

الموجات فوق السمعية والموجات تحت السمعية:

علمنا من سابق أن أذن الإنسان لا تستطيع أن تدرك إلا الأصوات الناتجة من اهتزازات تتراوح تقريباً بين 10-20000 اهتزازه في الثانية، أي لا بد للجسم (المصدر) أن يهتز 20 هزة في الثانية على الأقل ليصدر موجات صوتية ترددها 20 هرتز وهو الحد الأدنى لتردد الأصوات التي تسمعها الأذن البشرية أما الحد الأعلى لتردد الصوت الذي تسمعه الأذن البشرية فهو 20000هرتز.

تسمى الموجات الطولية الصادرة من جسم ما والتي يقل ترددها عن 20 هرتز بالموجات تحت السمعية.

أما الموجات التي يزيد ترددها عن 20000 هرتز فتسمى بالموجات فوق السمعية.

يمكن تعريف الموجات فوق السمعية وتحت السمعية كالتالي:

(أ) الموجات فوق السمعية:

وهي موجات ميكانيكية تنتشر بنفس سرعة الصوت المسموع، إلا أنها ذات تردد عالي يزيد عن 20000 ذ/ ث.

(ب) الموجات تحت السمعية:

وهي موجات ميكانيكية تنتشر بنفس سرعة الصوت المسموع، إلا أنها ذات تردد منخفض يقل عن 20ذ/ث.

نظراً لأن سرعة الصوت في الهواء (ع)=ث×؟

فإن طول الموجات فوق السمعية يكون قصيراً بالنسبة لأطوال بالنسية لأطوال الموجات الصوتية.

استخدامات الموجات فوق السمعية في الحياة العملية

(1) تستخدم الموجات فوق السمعية في نفس الأغراض التي يستخدم فيها صدى الصوت مثل تعيين الأبعاد والأعماق، وعلى أساس هذه الفكرة يستطيع الخفاش تجنب الاصطدام بما يعترض طريقة اثناء طيرانه، إذ يولد الخفاش موجات فوق سمعية، تنعكس عند اصطدامها بأي عائق، ويستقبل الخفاش الموجات المنعكسة، فيستدل على وجود العوائق، ويتجنبها.

(2) تستخدم في الفحوص الطبية والجراحية اعتماداً على أن كلا من مكونات جسم الإنسان كالأنسجة والعظام والدهون والعصاب تختلف في قدرتها على عكس هذه الموجات عند سقوطها عليها فتسلط حزمة من الموجات فوق السمعية على الجزء المراد فحصه وتستقبل الموجات المنعكسة بجهاز إلكتروني متصل بشاشة تلفزيونية تظهر عليها صورة المنطقة المفحوصة، وهذه الطريقة تؤدي الدور الذي تؤديه الأشعة السينية، يفضل استخدام هذه الموجات في الحالات التي يخشى فيها من التأثير الضار للأشعة السينية (أشعة إكس) على الجسم مثل تحديد حالة الجنين قبل ولادته.

(3) تستخدم في التأكد من تجانس مادة الآلة المعدنية عما بها من عيوب.

(4) تستخدم في القضاء على بعض أنواع البكتيريا مثل بكتيريا الدفتريا وبكتريا السل، وذلك باستخدام موجات فوق سمعية يصل ترددها إلى 700 ألف هرتز، كما أنها توقف نشاط بعض الفيروسات وتحد من تأثيرها.

(3) الصوت الموسيقى:

الصوت الموسيقي هو تلك الأصوات التي ترتاح لها الأذن مثل صوت العود والجيتار وآلة الكمان الخ فالصوت الموسيقي يتكون من اهتزازات منتظمة.

مميزات الصوت الموسيقي:

مميزات الصوت الموسيقي ثلاث وهي الدرجة، الشدة، لنوع.

(1) درجة الصوت **(Pitch)**:

وهي خاصية الصوت (النغمة) التي تميز بواسطتها الأذن بين الأصوات الحادة والأصوات الغليظة.

وقد اثبتت التجارب أن درجة نغمة صوتية معينة تتوقف على ترددها، فإذا كان تردد النغمة كبيراً قيل أن النغمة عالية في الدرجة، وإذا كان تردد النغمة صغيراً قيل أن النغمة منخفضة في الدرجة والتجربة التالية توضح ذلك.

تجربة

(1) أطرق شوكة رنانة ترددها 250 ذ/ث واستمع إلى النغمة الصادرة عنها.

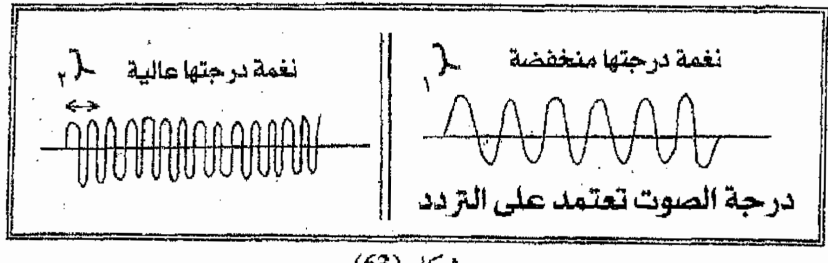
(2) ثم أطرق شوكة رنانة أخرى ترددها 500ذ/ث واستمع إلى النغمة الصادرة عنها أيضاً.

(3) تلاحظ أن الشوكة الثانية ذات التردد الأكبر تصدر نغمة حادة أي عالية في الدرجة بالنسبة للنغمة الصادرة عن الشوكة الأولى.

علاقة درجة الصوت بالطول الموجي

بما أن الصوت تكون ثابتة في نفس الوسط مهما اختلف التردد، لذا يكون طول موجة الصوت الغليظ (المنخفض في الدرجة) أكبر من طول موجة الصوت الحاد (العالي في الدرجة).

أي إذا كان ت 1> ت2 شكل (63)



شكل **(63)**

حيث ت1= تردد الصوت (النغمة) الغليظة، ت 2= تردد الصوت الحاد وبما ان سرعة الصوت (ع) ثابتة، حيث ع=ت×λ

$$\therefore \lambda = \frac{ع}{ت_1} ، \lambda_2 = \frac{ع}{ت_2} = \therefore \lambda_1 > \lambda_2$$

حيث λ_1 = طول موجة الصوت الغليظ.

λ_2 =طول موجة الصوت الحاد.

(2) شدة الصوت:

هي مقدار الطاقة الصوتية الساقطة في الثانية الواحدة على وحدة مساحة الكاشف (الأذن مثلاً) العمودية على اتجاه انتشار الصوت.

العوامل التي تعتمد عليها شدة الصوت:

تعتمد شدة الصوت على العوامل التالية:

(أ) المسافة بين المصدر والكاشف.

(ب) سعة اهتزازة المصدر.

(جـ) كثافة الوسط الناقل للصوت.

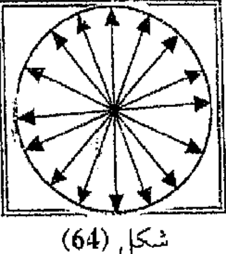
(د) مساحة سطح المهتز.

(هـ) اتجاه الريح.

(أ) شدة الصوت والمسافة بين المصدر والسامع: (قانون التربيع العكسي).

بما أن شدة الصوت هي مقدار الطاقة الصوتية الساقطة على وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الصوت في وحدة الزمن.

نفرض (م) مصدراً صوتياً بما ان الطاقة الصوتية تنتشر بشكل موجات كروية مركزها مصدر الصوت (م) ولذلك فإن الطاقة الصوتية (طا) تتوزع على سطح كرة في لحظة ما شكل (64)



شكل (64)

إذا كانت كمية الطاقة الصوتية الساقطة على الكرة في الثانية =طا

وكمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحة من سطح تلك الكرة = $\frac{\text{طا}}{4\pi \text{نق}^2}$

حيث نق= نصف قطر الكرة، 4π نق^2= مساحة سطح الكرة

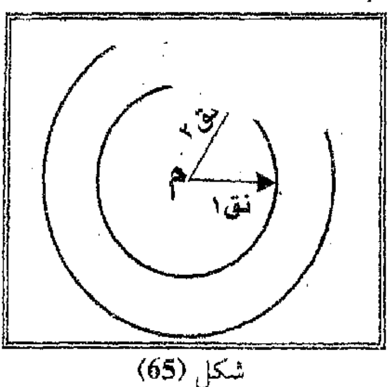
شدة الصوت في نقطة تبعد نق عن مصدر الصوت (م)،

$$= \frac{طا}{4\pi نق^2} = ش_1$$

∴ شدة الصوت في نقطة تبعد $نق^2$ عن مصدر الصوت (م) كما في شكل (65).

$$= \frac{ش_1}{ش_2} = \frac{طا}{4\pi نق_2} \div \frac{طا}{4\pi نق}$$

$$= \frac{ش_1}{ش_2} = \frac{نق_2^2}{نق_1^2}$$



شكل (65)

أي أن شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين المصدر والسامع وهذا ما يعرف بقانون التربيع العكسي في الصوت.

(ب) شدة الصوت وسعة الاهتزازه:

تجربـــة:

أطرق شوكة رنانة ذات تردد معلوم، برفق حتى يهتز فرعاها بسعة اهتزازه صغيرة فتصدر صوتاً ضعيفاً. إذا طرقت هذه الشوكة بقوة اهتز فرعاها بسعة اهتزازه اكبر فتصدر صوتاً أقوى.

نلاحظ من هذه التجربة أنه كلما ازدادت سعة ذبذبة الشوكة كلما ازدادت شدة الصوت، وتفسير ذلك انه كلما زادت سعة ذبذبة الشوكة كلما زاد مقدر الشغل أو الطاقة اللازمة لاحداث تلك الإهتزازه وبما ان الطاقة لا تفنى، ففي هذه الحالة ينتقل القسم الأكبر منها إلى الهواء المجاور فتجعله يتحرك حركته الإهتزازية المعهودة ونجد ان الطاقة الصوتية الموجودة في الهواء تزداد وبذلك تزداد شدة الصوت في نقطة ما، لأن شدة الصوت تتناسب طردياً مع مقدار الطاقة الصوتية، إذا كانت المسافة ثابتة، ولقد ثبت أن شدة: الصوت تتناسب طردياً مع مربع سعة الإهتزازة.

إذن كلما ازدادت سعة اهتزازة الجسم المهتز ازدادت سعة اهتزاز جزئيات الهواء وبذلك تزداد شدة الصوت في نقطة معينة في الحيز المحيط بمصدر الصوت.

(ج) شدة الصوت وكثافة الوسط الناقل

(1) إذا وضعت جرساً كهربائياً داخل ناقوس مملوء بالهواء وأخذت تفريغ هواء الناقوس، تلاحظ أن صوت الجرس يأخذ بالانخفاض مع التفريغ، وهذا يثبت أن شدة الصوت تنخفض بنقصان الكثافة.

(2) املأ الناقوس ثانية بالهواء تحت ضغط معين، ثم استبدله اولاً بغاز ثاني أوكسيد الكربون الذي هو اكثف من الهواء، وثانياً بغاز الهيدروجين الذي هو اقل كثافة من كل من الهواء ومن غاز ثاني اوكسيد الكربون تلاحظ أن الصوت يكون أوضح ما يمكن عندما يكون الناقوس مملوءاً بغاز ثاني أوكسيد الكربون، بغرض أن ضغط كل من الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون مساوي لضغط الهواء الذي ملأنا به الناقوس.

نستنتج من هذا الاختبار أن شدة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الناقل للصوت.

(د) شدة الصوت ومساحة السطح المهتز:

أطرق شوكة رنانة واستمع إلى الصوت الصادر عنها، أطرق الشوكة مرة ثانية واجعلها تلامس سطح طاولة تلاحظ أن الصوت يكون أوضح منه في الحالة الأولى، أي أن شدة الصوت المسموع قد ازدادت.

نستنتج من ذلك أن شدة الصوت تزداد بملامسة مصدر الصوت لجسم آخر أي بزيادة مساحة السطح المهتز والسبب في ذلك أن فرع الشوكة في الحالة الأولى يؤثر على جزئيات الهواء المجاورة للشوكة ولكن عندما تلامس الشوكة سطح الطاولة تنتقل الحركة إلى السطح الجديد الملامس لعدد أكبر من جزئيات الهواء، وبذلك يزداد عدد جزئيات الهواء المهتزة ويزداد معدل انتشار الطاقة الصوتية وبذلك تزداد شدة الصوت.

تستعمل هذه الخاصية بكثرة في الآلات الموسيقية لتقوية الأصوات الصادرة عنها وخاصة في الآلات الوترية مثل العود والكمان.

(هـ) شدة الصوت واتجاه الريح:

عندما ينتشر الصوت مع الريح ينكسر إلى الأسفل، فالشخص الواقف في مكان على سطح الأرض تصله الطاقة الصوتية بمعدل أكبر مما لو كان الريح ساكناً، ولذا تزداد شدة الصوت بالنسبة لهذا الشخص، وعلى العكس فإن الصوت ينكسر للأعلى إذا انتشر في عكس اتجاه الريح إذ ينتشر الصوت في الفضاء ويتوزع على مساحات اكبر ولذا يقل معدل الطاقة الصوتية الواصلة إلى شخص ما، وتبعاً لذلك تقل شدة الصوت.

نستنتج من ذلك أن شدة الصوت تزداد إذا انتشرت الطاقة الصوتية مع اتجاه الريح.

3. نوع الصوت: Quality of Sound:

نوع الصوت هو تلك الخاصية التي بواسطتها تميز الأذن بين النغمات المتماثلة في الدرجة والشدة الصادرة عن الآلات موسيقية مختلفة فالنغمة الصادرة من شوكة رنانة ترددها مثلاً 256 يمكن تمييزها عن نغمة أخرى لها نفس التردد صادرة من بيانو أو كمان، ولذلك يقال أن النغمتين السابقتين مختلفتان في النوع مع انهما متساويتان في الدرجة والشدة.

وتفسير ذلك يرجع إلى أن الآلة الموسيقية عندما تصدر نغمة ذات درجة معينة لا تكون هذه النغمة بسيطة نقية أي لا تكون نغمة أساسية فقط بل تصدر معها مجموعة من النغمات وهذه النغمات تكون عادة اعلى من النغمة الأساسية درجة وأقل منها شدة وتسمى بالنغمات التوافقية، فعندما تصدر الآلات الموسيقية المختلفة نغمة واحدة متماثلة في الدرجة والشدة فإنها تتفق جميعاً في النغمة الأساسية ولكنها تختلف في النغمات التوافقية المصاحبة وهذا ما يميز نوع النغمة الصادرة من آلة موسيقية عن أخرى.

المراجع

* أساسيات الفيزياء ف. بوش ، ترجمة سعيد الجزيري وزملائه ، ٢٠٠١ .

* كيث وفورد/ الفيزياء الكلاسيكية مجمع اللغة العربية المجلد الثاني ١٩٩١ .

* أساسيات انتقال الحرارة دار الكتب للطباعة والنشر برهان العلي ١٩٩٨.

* الفيزياء الحديثة للجامعات / ريتشاردز / ترجمة عبد الرزاق قدورة وزملائه ٢٠٠١ .

* مفاهيم في الفيزياء الحديثة/ آرثر بايرز / ترجمة د. نعيم عبد الشكور ٢٠٠٠.

* مبادئ الفيزياء النووية/ مايرهوف/ ترجمة عاصم عبد الكريم ١٩٩٩ .

* المرجع في الفيزياء ، ترجمة د. فريد يوسف متى / ١٩٩٨ دار مير للنشر .

* مدخل إلى الفيزياء ،ترجمة محمود عويضة وزميله ١٩٩٩ .

* خواص المادة والحرارة ، محمد عبد المقصود الجمال ١٩٩٩ .

* الفيزياء العامة / خليل وشاح / دار الفكر ١٩٩٥ .

* Covell, Allan (2000) forces and Motion Appil Revised londo .

1- Sears Zemamsky (University Ohysics) Addison Wesel Massachustts 1996 .

2- Hugh D. young, hysics, Addison Wesely Publishing Company, New York Poris's 2001 .

3- Young, R. A, Freedman, University Physics, Addisson Wesley Publishing Compuny New York 2001 .

4- Principles of Physics, Nelkon M. Hart Davis Educational 1995 .

5- Young College Physics, Addisson Wesley Publishing Con, California 2001 .

6- Jardine, Jim (Ed) 2000 Physics Hrough Applicatoins oxford University Press .

7- Warren, Peter (2001) Physics for life London John Marrag .

المراجع

* أساسيات الفيزياء ف. بوش ، ترجمة سعيد الجزيري وزملائه ، ٢٠٠١ .

* كيث وفورد/ الفيزياء الكلاسيكية مجمع اللغة العربية المجلد الثاني ١٩٩١ .

* أساسيات انتقال الحرارة دار الكتب للطباعة والنشر برهان العلي ١٩٩٨.

* الفيزياء الحديثة للجامعات / ريتشاردز / ترجمة عبد الرزاق قدورة وزملائه ٢٠٠١ .

* مفاهيم في الفيزياء الحديثة/ آرثر بايرز / ترجمة د. نعيم عبد الشكور ٢٠٠٠.

* مبادئ الفيزياء النووية/ مايرهوف/ ترجمة عاصم عبد الكريم ١٩٩٩ .

* المرجع في الفيزياء ، ترجمة د. فريد يوسف متى / ١٩٩٨ دار مير للنشر .

* مدخل إلى الفيزياء ،ترجمة محمود عويضة وزميله ١٩٩٩ .

* خواص المادة والحرارة ، محمد عبد المقصود الجمال ١٩٩٩ .

* الفيزياء العامة / خليل وشاح / دار الفكر ١٩٩٥ .

* Covell, Allan (2000) forces and Motion Appil Revised londo .

1- Sears Zemamsky (University Ohysics) Addison Wesel Massachustts 1996 .

2- Hugh D. young, hysics, Addison Wesely Publishing Company, New York Poris's 2001 .

3- Young, R. A, Freedman, University Physics, Addisson Wesley Publishing Compuny New York 2001 .

4- Principles of Physics, Nelkon M. Hart Davis Educational 1995 .

5- Young College Physics, Addisson Wesley Publishing Con, California 2001 .

6- Jardine, Jim (Ed) 2000 Physics Hrough Applicatoins exford University Press .

7- Warren, Peter (2001) Physics for life London John Marrag .



أساسيات

الفيزياء العامة

* إن جميع العلوم الطبيعية دون استثناء لايمكن ان تستغني عن قوانين علم الفيزياء وهنالك العديد من الظواهر الفيزيائية التي تجري في الأجسام الحية مثلما تجري في الأجسام غير الحية، ومن هنا فإن علم الحياة والعلوم الطبيعية والزراعية وثيقة الصلة بعلم الفيزياء الجيولوجي وفيزياء المادة الحية إضافة لعلم الكيمياء والجيولوجيا والجيوفيزيا والجغرافيا والفلك وغيرها من العلوم الطبيعية تستخدم جميعها قوانين علم الفيزياء كما يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن تطور التكنولوجيا يؤثر بدوره على تطور العلوم الطبيعية بما فيها علم الفيزياء وهذا يعني وجود علاقة متبادلة بين تطور العلوم الطبيعية وبشكل خاص الفيزياء وبين تطور التكنولوجيا، فالتكنولوجيا هي الاسم التقني لحضارة الإنسان العملية والتطبيقية، فعلو[illegible] هي تكنولوجيا الغد.



مركز الكتاب الأكاديمي
ACADEMIC BOOK CENTER



عمان- شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 064619511 ص. ب 1061 عمان 11732 الأردن
E-mail:Abc.safi@yahoo.com/A.b.center@hotmail.com